

Toni Niittylahti

LÄMMÖNTALTEENOTTOLAITTEIDEN  
TUTKIMINEN MIKKELIN  
AMMATTIKORKEAKOULUN  
SAVONNIEMEN KAMPUKSEN  
MATALAENERGIARAKENNUKSESSA

Opinnäytetyö  
Talotekniikka


Helmikuu 2010




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

# KUVAILULEHTI

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>	
<b>Tekijä(t)</b> Toni Niittyalahti		<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> <b>Talotekniikka</b> LVI-tekniikan suuntautumis vaihtoehto	
<b>Nimeke</b> LTO-laitteiden tutkiminen Mikkelin ammattikorkeakoulun Savonniemen kampuksen matalaenergiarakennuksesta.			
<b>Tiivistelmä</b> <p>Insinööriyön tarkoituksena on tutkia Mikkelin Ammattikorkeakoulun Savonniemen kampuksen matalaenergiarakennuksen lämmöntalteenottolaitteita. Lämmöntalteenottolaitteista selvitettiin niiden toiminta, poistoilmasta saatu energia ja rakennusautomaation mittaustulosten paikkansapitävyys.</p> <p>Savonniemen kampuksen matalaenergiarakennuksen lämmöntalteenottolaitteet ovat levylämmönsiirrin, pyörivälämmönsiirrin ja vesi-glykoli-lämmönsiirrin.</p> <p>Lämmöntalteenottolaitteiden ilmavirtojen lämpötiloja mitattiin hetkellisesti ja 4 – 5 vuorokautta kestäväillä mittauksilla sekä tältä ajalta otettiin talteen rakennusautomaation historiatiedot vertailua varten. Mittaukset suoritettiin tammikuussa 2010.</p> <p>Mittauksista havaittiin, ettei rakennusautomaatio ilmoita oikeita ilmavirtoja, sekä rakennusautomaation antamat tuloilman lämpötilasuhteet eivät pitäneet paikkaansa. Tuloilman lämpötilasuhteeseen vaikutti rakennusautomaation antureiden sijoitus. Varsinkin tuloilmassa lämmöntalteenottolaitteen ja lämmityspatterin välissä oleva anturi oli sijoitettu liian lähelle lämmityspatteria. Näin ollen anturiin kohdistui säteilyä eikä mittaustulos ollut luotettava. Muidenkin antureiden sijoitus ei ollut edustava.</p> <p>Rakennus saavutti VTT:n tavoitteet energiakulutuksen suhteen. Ilmanvaihdon osuus rakennuksen energiakulutuksesta oli n. 62 %.</p>			
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> lämmöntalteenotto, rakennusautomaatio, mittaus			
<b>Sivumäärä</b>	<b>Kieli</b> Suomi	<b>URN</b>	
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>			
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Martti Veuro		<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Mikkelin ammattikorkeakoulu	

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Date of the bachelor's thesis</b>	
<b>Author(s)</b> Toni Niittyalahti		<b>Degree programme and option</b> Building Services Engineering	
<b>Name of the bachelor's thesis</b> Heat exchangers analysis of Mikkeli University of Applied Sciences Savonniemi campuses low energy building			
<b>Abstract</b> <p>The purpose of the thesis was to examine heat exchangers in low energy building in Mikkeli University of Applied Sciences Savonniemi campus. Heat exchangers were researched to study their operation, energy got from extract air and reliability of building automation measurements. The heat exchangers are fixed-plate heat exchanger, rotary energy exchanger and water-ethylene glycol exchanger.</p> <p>The air flow temperature of heat exchangers were measured momentarily and 4 – 5 days lasting measurements. During these days the performance data of the building automation history was recorded for comparison. Measurements were completed in January 2010.</p> <p>It was detected that the building automation didn't show right air flows, and the supply air temperature ratios from building automation weren't accurate. Their location affected supply air temperature. Especially in supply air the sensor between heat exchanger and heating radiator was located too close to the heating radiator. Therefore radiation affected the sensor, so the measurement wasn't reliable.</p> <p>The low energy building achieved VTT's aims in energy consumption. The share of ventilation in the building's energy consumption was 62 %.</p>			
<b>Subject headings, (keywords)</b> heat exchange, building automation, measurement			
<b>Pages</b>	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>	
<b>Remarks, notes on appendices</b>			
<b>Tutor</b> Matti Veuro		<b>Bachelor's thesis assigned by</b> Mikkeli University of Applied Sciences	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	SAVONNIEMEN KAMPUS .....	2
2.1	VTT:n asettamat tavoitteet .....	3
3	SISÄILMASTOLUOKITUS .....	3
4	ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄT .....	5
5	ILMANVAIHTOKONEET .....	6
5.1	Kampuksen ilmanvaihtokoneet .....	6
5.2	Ominaissähköteho.....	11
6	KAMPUKSEN LÄMMÖNTALTEENOTTOJÄRJESTELMÄT .....	12
6.1	Laskuissa käytetyt kaavat .....	13
6.2	Regeneratiivinen lämmönsiirrin .....	15
6.3	Suora rekuperatiivinen lämmönsiirrin .....	16
6.4	Nestekiertoinen järjestelmä .....	17
7	MITTAUKSET .....	18
7.1	Mittauslaitteet .....	19
7.2	TK1 .....	22
7.3	TK2.....	24
7.4	TK3.....	27
7.5	TK4.....	28
7.6	TK5.....	30
7.7	TK6.....	31
7.8	TK7.....	33
7.9	TK8.....	35
8	YHTEENVETO .....	35
9	LÄHTEET.....	39
	LIITE 1. ILMANVAIHTOKONEIDEN VAIKUTUSALUEET	
	LIITE 2. SÄÄTÖKAAVIOT JA MITTAUSPISTEET	

## 1 JOHDANTO

Energianormien tiukentuessa matalaenergiarakentaminen yleistyy Suomessa koko ajan, ja yksi suurimmista lämpöenergian kuluttajista on ilmanvaihto. Osa ilmanvaihtoon kulutetusta lämpöenergiasta voidaan ottaa talteen poistoilmasta lämmöntalteenottolaitteella. Ilmanvaihto on yksi merkittävä vaikuttaja sisäilman laatuun ja ihmisten viihtyvyyteen rakennuksessa. Ilmanvaihdon oikealla suunnittelulla, toteutuksella ja käytöllä saadaan luotua energiatehokas rakennus, jossa on hyvä sisäilma.

Tässä työssä tutkitaan Mikkelin ammattikorkeakoulun Savonniemen kampuksen matalaenergiarakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenottolaitteita. Työn tarkoituksena on selvittää eri lämmöntalteenottolaitteiden toiminta, lämmöntalteenottolaitteiden poistoilmasta saatu lämpöenergian hyöty tuloilman lämmittämisessä ja rakennusautomaation mittaustulosten vertailu työn aikana tehtyihin mittauksiin lämpötilojen osalta.

Työssä käydään läpi Savonniemen kampuksen laajennusosan ilmanvaihtojärjestelmät, ilmanvaihtokoneet sekä lämmöntalteenottojärjestelmät. Tulokset perustuvat tammikussa 2010 tehtyihin mittauksiin ja rakennusautomaation antamiin tietoihin.

## 2 SAVONNIEMEN KAMPUS

Savonniemen kampus on Mikkelin ammattikorkeakoulun Savonlinnan yksikkö. Savonniemen kampukselle valmistui syksyllä vuonna 2006 laajennusosa. Laajennusosa on tehty matalaenergiarakennukseksi ja siihen on tarkoituksella valittu erilaisia järjestelmiä sekä lisätty ylimääräisiä mittauksia ja mittareita. Syy tälle on se, että rakennuksen on tarkoitus toimia myös Mikkelin ammattikorkeakoulun tekniikan alojen (talo- ja sähkötekniikka) opetuksessa. Hankkeessa on ollut mukana VTT:n kaksi asiantuntijaa, jotka ovat määrittäneet tavoitteet rakennuksen energiakulutukselle.

Matalaenergiarakennus edellyttää erilaista rakentamista kuin normaali rakennus. Erityisesti on kiinnitettävä huomiota suunnitteluun ja valittaviin laitteisiin sekä rakennusvaiheisiin. Rakennuksesta tehdään tiiviimpi, sen ilmanvaihtoa, lämmitystä ja valaistusta ohjataan tarpeen mukaan sekä poistoilmasta pyritään ottamaan energiaa talteen normaalia tehokkaammilla lämmöntalteenottojärjestelmillä. Rakennuksen automaatiojärjestelmästä saadaan tietoja energia-, veden- ja sähkökulutuksesta. Rakennuksen käytön aikana näitä tietoja seurataan ja analysoidaan.

Rakennukselle on tehty isännöitsijätodistukseen sisältyvä energiatodistus. Energiatodistus on tehty vuoden 2008 energiakulutustiedoista, jotka on saatu rakennusautomaatiojärjestelmästä. Rakennus on käyttötarkoitukseltaan opetusrakennus. Energiakulutustiedoista laskettu energiatehokkuusluku on 104 kWh/brm<sup>2</sup>/vuosi ja käyttötarkoituksen perusteella energiatehokkuusluokka on A-luokka.

”Energiatodistus kertoo rakennuksen energiatehokkuuden verrattuna muihin vastaaviin rakennuksiin. Energiatehokkuus määritetään laskennallisesti tai toteutuneen energiakulutuksen perusteella.” [1, s. 10.]

Rakennusten energiatodistuksesta on säädetty laki (487/2007). Laki tuli voimaan vuoden 2008 alussa. Uusi laki velvoittaa hankkimaan energiatodistuksen kaikille uudisrakennuksille ja vuoden 2009 alusta lähtien energiatodistuksen jo olemassa oleville rakennuksille, jotka ovat myynnissä tai vuokrattavana. Poikkeuksena ovat pientalot sekä alle kuuden asunnon asuinrakennukset tai asuinrakennusryhmät. Kaiken tämän takana on rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (2002/91/EY). Direktiivin

tarkoitus on vähentää hiilidioksidipäästöjä rakennusten energiatehokkuutta parantamalla. [1, s. 10 - 16.]

Matalaenergiarakennuksella tarkoitetaan rakennusta, joka kuluttaa vähintään 50 % vähemmän tilojen lämmitysenergiaa kuin vastaava normien mukaan rakennettu rakennus. Lisäksi talotekniikan ja muiden sähkölaitteiden energiatehokkuudet ovat parempia kuin normirakennusten. Energiatehokkuutta parantamalla luodaan myös parempi ja viihtyisämpi sisäilmasto rakennukseen. [2, s. 3.]

## **2.1 VTT:n asettamat tavoitteet**

Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen asiantuntijat Juhani Laine ja Mikko Saari ovat määrittäneet Savonniemen kampuksen uudisrakennuksen sisäilmaston ja matalaenergiarakentamisen suunnitteluperiaatteet.

”Matalaenergiarakennuksen suunnittelun pääperiaate on toteuttaa vaadittava sisäilmasto mahdollisimman yksinkertaisilla, mutta vaaditut ominaisuudet täyttävillä ja toimivilla rakenne- ja laiteteknisillä ratkaisuilla ja energiakulutus- ja kustannusvaatimukset samalla täyttäen.” [3]

Uudisrakennuksessa noudatetaan sisäilmastoluokitus 2000:n periaatteita ja menettelytapoja. Uudisrakennuksen sisäilmastoluokka on S2 ja kesällä huonelämpötilan S3, rakennustöiden puhtausluokka on P1, ilmanvaihtojärjestelmien puhtausluokka on P2, rakennusmateriaalien päästöluokka on M1, ja ilmanvaihtotuotteet ovat puhtausluokiteltuja. Uudisrakennuksen energiakulutuksen tavoitearvot ovat kaukolämpöenergian kulutuksen osalta 50 % ja sähköenergian kulutuksen osalta 30 % pienemmät kuin vastaavan rakentamismääräysten mukaan rakennetun rakennuksen kulutus. Käytönaikaisen energiakulutuksen hiilidioksidipäästöt 100 vuoden aikana vähenevät 54 % matalaenergiarakentamisen ansiosta, mikäli energian tuotantotapa pysyy nykyisenä. [3]

## **3 SISÄILMASTOLUOKITUS**

Sisäilmastoluokituksen tarkoituksena on olla apuna rakennus- ja taloteknisessä suunnittelussa, urakoinnissa ja rakennustarviketeollisuudessa. Sen tavoitteena on

tehdä rakennuksista entistä terveellisempiä ja viihtyisämpiä. Luokitus soveltuu uudisrakentamisen ohella korjausrakentamiseen. Se antaa sisäilmastolle tavoite- ja suunnitteluarvot, joiden mukaan rakennuksen laitteet ja järjestelmät suunnitellaan ja valitaan. [4, s. 3.]

Sisäilmaston tavoitearvo koostuu lämpöolosuhteista, ilman laaduista, ääniolosuhteista ja valaistuksesta. Sisäilmaston tavoitearvot on jaettu kolmeen eri luokkaan:

- S1 (yksilöllinen sisäilmasto)
- S2 (hyvä sisäilmasto)
- S3 (tydyttävä sisäilmasto)

S1-luokalla tarkoitetaan tilaa, jonka sisäilman laatu on erittäin hyvä, lämpöolot ovat viihtyisät, käyttäjä pystyy vaikuttamaan lämpöoloihin, tilassa on hyvät ääniolosuhteet ja käyttäjä voi säätää valaistusta. S2-luokalla tarkoitetaan tilaa, jonka sisäilman laatu on hyvä, lämpöolot ovat hyvät sekä tiloissa on käyttötarkoituksen mukaiset ääni- ja valaistusolosuhteet. S3-luokalla tarkoitetaan tilaa, jonka sisäilmasto täyttää Suomen rakentamismääräyskokoelman vähimmäisvaatimukset. Taulukossa 1 on esitetty eri sisäilmastoluokkien lämpötilojen tavoitearvot. [4, s. 3 – 4.]

**TAULUKKO 1. Lämpötilan tavoitearvot.**

	S1	S2	S3
Operatiivinen lämpötila $t_{op}$ (°C)	21,5	21,5	21
$t_u \leq 10$ °C	$21,5 + 0,3 \times (t_u - 10)$	$21,5 + 0,3 \times (t_u - 10)$	$21 + 0,4 \times (t_u - 10)$
$10 < t_u \leq 20$ °C	24,5	24,5	25
$t_u > 20$ °C			
Sallittu poikkeama tavoitearvosta (°C)	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$
Opetatiivisen lämpötilan enimmäisarvo (°C)	$t_{op} + 1,5$	$t_u \leq 10$ °C: $t_{op} + 1,5$ $10 < t_u \leq 20$ °C: $23 + 0,4 \times t_u - 10$ $t_u > 20$ °C: 27	$t_u \leq 15$ °C: 25 $t_u > 15$ °C: $t_{umax} + 5$
Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo (°C)	20	20	18
Olosuhteiden pysyvyys (% käyttöajasta)			



- toimisto- ja opetustilat	95 %	90 %	-
- asunnot	90 %	80 %	-

Sisäilmaston tavoitearvoihin liittyy rakentamisen ja materiaalin osalta rakennusmateriaalien päästöluokitus M sekä rakennustöiden puhtausluokitus P. M1-luokan materiaaleja käytetään S1:n ja S2:n tavoitearvoon pyrittäessä. M2-luokan materiaaleja saa käyttää ainoastaan 20 % huoneen sisäpinoista. P1-puhtausluokitusta käytetään S1:n tai S2:n tavoitearvoon pyrittäessä. Tällä tavoin pyritään poistamaan näkyvä lika sekä irtolika (ml. pöly) tiloista, jotta saadaan erinomainen sisäilman laatu aikaan. P2-puhtausluokkaa käytetään S3:n tavoitearvoon pyrittäessä. Tämä ei aseta puhtaudelle erityisvaatimuksia. [4, s. 3 – 12.]

#### 4 ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄT

Savonniemen kampuksen matalaenergiarakennuksen ilmanvaihtojärjestelmänä on suurimmassa osassa rakennusta koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto varustettuna lämmöntalteenotolla, porrashuoneessa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto sekä maalaustilassa koneellinen poisto. IV-kone TK4 ohjaa kahden neuvotteluhuoneen ilmanvaihtoa ilmamääräsäätimien (IMS) avulla. IV-koneen TK6 kanavistoon on asennettu jäähdytys- ja lämmityspattereita. IV-koneiden lämpötilan ohjaus on asetettu niin, että poistoilman lämpötilan noustessa tuloilman lämpötilaa lasketaan ja poistoilman lämpötilan laskiessa tuloilman lämpötilaa nostetaan. Kanavapaineita säädetään painetuntoelimien mittaustulosten perusteella. Taajuusmuuttajien avulla säädetään puhaltimien pyörimisnopeutta. Säädöllä pyritään pitämään tulo- ja poistoilmakanavan paineet asetusarvossa, jotta kanavisto pysyisi tasapainossa.

Ilmanvaihtoa ohjataan aikaohjelmalla, hiilidioksidiantureilla, läsnäoloantureilla, lämpötila-antureilla, käsikytkimillä ja yötuuletuksella. Aikaohjelmaan on määritetty ilmanvaihdon alkamis- ja loppumisaika; kampuksella se määritetään lukujärjestyksen mukaisesti. Aikaohjelman lisäksi osassa tiloista mitataan hiilidioksidipitoisuuksia, läsnäoloa sekä lämpötilaa. Mikäli hiilidioksidipitoisuus ylittää asetetun arvon, ilmanvaihto käynnistyy tai tehostuu. Lämpötila-anturit säätelevät tuloilman lämpötilaa. Joissain tiloissa tuloilman lämpötilaa lasketaan jäähdytyksen avulla. Läsnäoloanturi käynnistää ilmanvaihdon, kun tilaan tulee käyttäjä. Käsikytkimillä voidaan ohjata tilan ilmanvaihtoa, mahdollisuudet ovat 1/2 tai 1/1 –nopeus.

Käsiyhtymillä käytetään tiloja, joissa aikaohjelma on sammuttanut ilmanvaihdon, mutta tilassa on silti käyttäjiä.

Yötuuletusta käytetään kesäisin. Tällä saadaan rakennusta jäähdytettyä yöaikana. Yötuuletuksen ansiosta aamulla rakennus on viileä, sillä rakenteet ovat varanneet kylmää yöaikaisesta ilmasta, jolloin rakennuksen sisäilma pysyy viileämpänä pidempään.

## 5 ILMANVAIHTOKONEET

Seuraavissa kappaleissa käydään läpi kampuksen lämmöntalteenotolla varustettujen ilmanvaihtokoneiden rakennetta, ominaisuuksia, vaikutusaluetta, ohjausta ja mitoitus sekä käsitellään ominaissähkötehoa.

### 5.1 Kampuksen ilmanvaihtokoneet

Savonniemen kampuksen matalaenergiarakennuksessa on yhteensä 10 ilmanvaihtokonetta. Lämmöntalteenotto on 8 koneessa. Kaikissa lämmöntalteenotolla varustetuissa koneissa on tulo- sekä poistopuolella lämpöeristetty sulkupelti, pitkä suodatinosa F7, äänenvaimennin ja rakenneosia, sekä kaikki puhaltimet ovat taajuusmuuttajakäyttöisiä. IV-kone TK8 eroaa muista koneista sillä, että äänenvaimentimet ovat kanavissa sekä tuloilmassa on pitkä suodatin EU5 ja poistoilmassa on pitkä suodatin EU7. Lämmöntalteenottolaitteiden lämpötilahyötysuhteet ovat kaikilla IV-koneilla valmistajan ilmoittamia arvoja ulkolämpötilan ollessa  $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kosteuden 70 % ja poistoilman lämpötilan ollessa  $+23\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kosteuden 30 %. Poikkeuksena on TK8, jonka lämpötilahyötysuhde on laskettu poistoilman lämpötilalla  $+21\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

IV-kone TK1 on Fläkt Woods Oy:n EU-2000 –kone, ja sen koko on EU-31. TK1:n vaikutusalue on auditorio (Liite 1). Tilaa ohjataan aikaohjelmalla ja hiilidioksidimittauksella.

Koneen mitoitus:

- Tuloilma, ilmavirta  $1,5\text{ m}^3/\text{s}$ , kokonaispaine 200 Pa
- Poistoilma, ilmavirta  $1,5\text{ m}^3/\text{s}$ , kokonaispaine 200 Pa

- SFP-luku  $1,5 \text{ kW/m}^3/\text{s}$
- Pyörivä lämmöntalteenotto, ei hygroskooppinen
  - Lämpötilahyötysuhde 79 %
- Lämmitysosa  $24,7 \text{ kW}$   $6/20 \text{ }^\circ\text{C}$  vesi  $60/40 \text{ }^\circ\text{C}$   $8 \text{ kPa}$ 
  - Sulatus  $45,5 \text{ kW}$   $-5/20 \text{ }^\circ\text{C}$  vesi  $60/40 \text{ }^\circ\text{C}$   $14,3 \text{ kPa}$
- Jäähdytysosa  $36,2 \text{ kW}$ 
  - Ilma  $29 \text{ }^\circ\text{C}$  50 % Rh /  $16 \text{ }^\circ\text{C}$
  - Vesi  $7/12 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $1,73 \text{ dm}^3/\text{s}$ ,  $3,5 \text{ kPa}$

IV-kone TK2 on Fläkt Woods Oy:n EU-2000 –kone, ja sen koko on EU-31. TK2:n vaikutusalue on käytävä 019, sosiaalitilat, itseopiskelutila 005 sekä 1. – 4. kerroksen WC-tilat (Liite 1). Käytävää 019 ohjataan hiilidioksidimittausten mukaan. Sosiaalitiloja ohjataan aikaohjelmalla. Itseopiskelutilaa 005 ohjataan aikaohjelmalla ja läsnäoloanturilla. WC-tiloissa on jatkuva ilmanvaihto. IV-koneessa TK2 on kesäaikana yötuuletus, mikäli koneen yötuuletusehdot täyttyvät.

Koneen mitoitus:

- Tuloilma, ilmavirta  $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$   $200 \text{ Pa}$
- Poistoilma, ilmavirta  $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$   $250 \text{ Pa}$
- SFP-luku  $1,5 \text{ kW/m}^3/\text{s}$
- Levylämmöntalteenotto
  - Lämpötilahyötysuhde 72 %
- Lämmitysosa  $28,2 \text{ kW}$   $2/20 \text{ }^\circ\text{C}$  vesi  $60/40 \text{ }^\circ\text{C}$   $6,1 \text{ kPa}$ 
  - Sulatus  $39,2 \text{ kW}$   $-5/20 \text{ }^\circ\text{C}$  vesi  $60/40 \text{ }^\circ\text{C}$   $10,9 \text{ kPa}$

IV-kone TK3 on Fläkt Woods Oy:n EU-2000 –kone, ja sen koko on EU-40. TK3:n vaikutusalue on keittiö (Liite 1). IV-konetta ohjataan koneen omalla aikaohjelmalla tai käsikytkimillä. IV-koneessa TK3 on kesäaikana yötuuletus, mikäli koneen yötuuletusehdot täyttyvät.

Koneen mitoitus:

- Tuloilma, ilmavirta  $2,3 \text{ m}^3/\text{s}$ , kokonaispaine  $200 \text{ Pa}$
- Poistoilma, ilmavirta  $2,35 \text{ m}^3/\text{s}$ , kokonaispaine  $200 \text{ Pa}$
- SFP-luku  $1,55 \text{ kW/m}^3/\text{s}$

- Vesi-glykoli-lämmöntalteenotto
  - Lämpötilahyötysuhde 41,4 %, rajoitettu
  - Neste 40 % etyl.glykoli 1,15 dm<sup>3</sup>/s 27 kPa
- Lämmitysosa 83,2 kW -10/20 °C vesi 60/40 °C 4,0 kPa

IV-kone TK4 on Fläkt Woods Oy:n EU-2000 –kone, ja sen koko on EU-31. TK4:n vaikutusalue on 2. kerroksen työhuoneet (Liite 1), jotka on ohjattu aikaohjelmalla ja käsikytkimillä. Näin voidaan määrittää haluttu käyntiaika. IV-koneessa TK4 on kesäaikana yötuuletus, mikäli koneen yötuuletusehdot täyttyvät. TK4:n vaikutusalueeseen kuuluu lisäksi neuvotteluhuoneet 213 ja 231. Neuvotteluhuoneiden ilmanvaihto ohjataan ilmamääräsäätimillä, jotka ohjautuvat lämpötilamittauksella, läsnäoloanturilla ja käsikytkimillä. Lisäksi tilojen huonelämpötilan asetusarvoa voidaan muuttaa +/- 2 °C.

Koneen mitoitus:

- Tuloilma, ilmavirta 1,05 m<sup>3</sup>/s
- Poistoilma, ilmavirta 0,95 m<sup>3</sup>/s
- SFP-luku 1,15 kW/m<sup>3</sup>/s
- Pyörivä lämmöntalteenotto, ei hygroskooppinen
  - Lämpötilahyötysuhde 76 %
- Lämmitysosa 16,6 kW 7/20 °C vesi 60/40 °C 6,1 kPa
  - Sulatus 31,9 kW -5/20 °C vesi 60/40 °C 8 kPa

IV-kone TK5 on Fläkt Woods Oy:n EU-2000 –kone, ja sen koko on EU-31. TK5:n vaikutusalue on ruokala ja parvi (Liite 1). Tilat on ohjattu aikaohjelmalla ja käsikytkimillä. IV-koneessa TK5 on kesäaikana yötuuletus, mikäli koneen yötuuletusehdot täyttyvät.

Koneen mitoitus:

- Tuloilma, ilmavirta 1,5 m<sup>3</sup>/s, kokonaispaine 200 Pa
- Poistoilma, ilmavirta 1,5 m<sup>3</sup>/s, kokonaispaine 200 Pa
- SFP-luku 1,55 kW/m<sup>3</sup>/s
- Pyörivä lämmöntalteenotto, ei hygroskooppinen
  - Lämpötilahyötysuhde 79 %
- Lämmitysosa 23,7 kW 7/20 °C vesi 60/40 °C 4,7 kPa

- Sulatus 45,5 kW -5/20 °C vesi 60/40 °C 14,3 kPa

IV-kone TK6 on Fläkt Woods Oy:n EU-2000 –kone, ja sen koko on EU-41. TK6:n vaikutusalue on käytävä 308, työhuoneet 315 – 318, ATK-tila 307, hoidonopetustila 304, fysioterapiatila 302 ja hoidonopetustila 303 (Liite 1). Käytävää 308 ohjataan hiilidioksidimittauksella. Työhuoneita 315 – 318 ohjataan aikaohjelmalla. ATK-tilaa 307 ohjataan aikaohjelmalla, käsikytkimellä, läsnäoloanturilla ja lämpötilamittauksella. ATK-tilan tuloilmakanavassa on erillinen jäähdytys- ja lämmityspatteri. Jäähdytys- ja lämmityspatterit toimivat ATK-tilan lämpötilamittauksen mukaan. Luokkia 302 – 304 ohjataan aikaohjelmalla, läsnäoloanturilla, käsikytkimellä, sekä tiloihin johdettavaa ilmaa voidaan lämmittää erikseen. IV-koneessa TK6 on kesäaikana yötuuletus, mikäli koneen yötuuletusehdot täyttyvät.

Koneen mitoitus:

- Tuloilma, ilmavirta 2,1 m<sup>3</sup>/s, kokonaispaine 250 Pa
- Poistoilma, ilmavirta 1,95 m<sup>3</sup>/s, kokonaispaine 200 Pa
- SFP-luku 1,6 kW/m<sup>3</sup>/s
- Pyörivä lämmöntalteenotto, ei hygroskooppinen
  - Lämpötilahyötysuhde 82 %
- Lämmitysosa 23,0 kW 7/16 °C vesi 60/40 °C 3,2 kPa
  - Sulatus 53,5 kW -5/16 °C vesi 60/40 °C 4,9 kPa

Kanavassa:

- Jälkilämmityspatteri JLP1 600x600, 3,6 kW
  - Ilma 0,6 m<sup>3</sup>/s 15/20 °C, 10 Pa
  - Vesi 70/40 °C 2,0 kPa
- Jäähdytyspatteri JP1 600x600, 16,3 kW
  - Ilma 0,6 m<sup>3</sup>/s 29 °C 50 % / 14 °C, 45 Pa (kuiva)
  - Vesi 7/12 °C 80 kPa
- Jälkilämmityspatteri JLP2 500x400, 1,8 kW
  - Ilma 0,3 m<sup>3</sup>/s 15/20 °C, 10 Pa
  - Vesi 70/40 °C 1,0 kPa
- Jäähdytyspatteri JP2 500x400, 7,5 kW (tilanvaraus)
- Jälkilämmityspatteri JLP3 500x400, 1,8 kW

- Ilma 0,3 m<sup>3</sup>/s 15/20 °C, 10 Pa
- Vesi 70/40 °C 1,0 kPa
- Jäähdytyspatteri JP3 500x400, 7,5 kW (tilanvaraus)
- Jälkilämmityspatteri JLP4 500x400, 1,8 kW
  - Ilma 0,3 m<sup>3</sup>/s 15/20 °C, 10 Pa
  - Vesi 70/40 °C 1,0 kPa
- Jäähdytyspatteri JP4 500x400, 7,5 kW (tilanvaraus)
- Jälkilämmityspatteri JLP5 500x400, 3,6 kW
  - Ilma 0,6 m<sup>3</sup>/s 15/20 °C, 10 Pa
  - Vesi 70/40 °C 2,0 kPa

IV-kone TK7 on Fläkt Woods Oy:n EU-2000 –kone, ja sen koko on EU-31. TK7:n vaikutusalue on käytävä 404, työhuoneet 406 – 408, opetustila 402 ja itseopiskelutila 409 (Liite 1). Käytävää 404 ja työhuoneita 406 – 408 ohjataan hiilidioksidimittauksella ja käsikytkimillä. Opetustilaa 402 ja itseopiskelutilaa 409 ohjataan aikaohjelmalla, käsikytkimillä ja läsnäoloantureilla. Teknistä käsityöluokkaa ohjataan aikaohjelmalla ja käsikytkimillä. IV-koneessa TK7 on kesäaikana yötuuletus, mikäli koneen yötuuletusehdot täyttyvät.

Koneen mitoitus:

- Tuloilma, ilmavirta 1,2 m<sup>3</sup>/s, kokonaispaine 200 Pa
- Poistoilma, ilmavirta 1,1 m<sup>3</sup>/s, kokonaispaine 200 Pa
- SFP-luku 1,5 kW/m<sup>3</sup>/s
- Pyörivä lämmöntalteenotto, ei hygroskooppinen
  - Lämpötilahyötysuhde 76 %
- Lämmitysosa 19,0 kW 7/20 °C vesi 60/40 °C 4 kPa
  - Sulatus 36,4 kW -5/20 °C vesi 60/40 °C 9,7 kPa

IV-kone TK8 on Enerventin RS-20-HW –kone. TK8:n vaikutusalue on tekninen käsityöluokka (Liite 1). Tilaa ohjataan aikaohjelmalla ja käsikytkimillä.

Koneen mitoitus:

- Tuloilma, ilmavirta 0,45 m<sup>3</sup>/s, kokonaispaine 200 Pa
- Poistoilma, ilmavirta 0,45 m<sup>3</sup>/s, kokonaispaine 200 Pa
- Pyörivä lämmöntalteenotto

- Lämpötilahyötysuhde 77 %
- Lämmitysosa 6 kW vesi 60/40 °C ilma 9/20 °C

## 5.2 Ominais sähköteho

SFP-luku (Specific Fan Power) eli ominais sähköteho kuvaa ilmanvaihtojärjestelmän sähkötehokkuuden. SFP-luku on apuväline, jolla määritellään suunniteltavan kohteen ominais sähkötehon tavoitetaso. Mikäli tavoitetasoksi määritellään jokin arvo, niin tällöin kaikki puhaltimet ja IV-koneet on mitoitettava ja valittava siten, että painotettu keskiarvo alittaa tavoitearvon. Yksittäisiä tavoitearvon ylityksiä sallitaan, mikäli ne kompensoidaan muissa koneissa tai puhaltimissa. [5, s. 4.]

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 on esitetty vaatimuksia ominais sähköteholle. Määräys koskee ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuutta. Se velvoittaa rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän ja rakennuksen suunnittelun käyttötarkoitusta ja käyttöä niin, että sillä on edellytykset tehokkaalle energiakäytölle. Energiatehokkuutta voidaan varmistaa erilaisilla suunnittelu- ja toteutusratkaisuilla. Järjestelmästä on pystyttävä helposti mittaamaan sähköteho. SFP-luku koneellisella tulo- ja poistoilmajärjestelmällä saa olla enintään 2,5 kW/m<sup>3</sup>/s ja koneellisella poistoilmajärjestelmällä 1,0 kW/m<sup>3</sup>/s. Ominais sähkötehokkuus ei saa heikentää terveellistä, turvallista ja viihtyisää sisäilmastoa. Mikäli edellä mainitut seikat eivät toteudu, ominais sähköteho saa poiketa määräyksistä. [6, s. 23.]

”Koko ilmanvaihtojärjestelmän ominais sähköteho on rakennuksen koko ilmanvaihtojärjestelmän kaikkien puhaltimien yhteenlaskettu sähköverkosta ottama sähköteho kW jaettuna ilmanvaihtojärjestelmän koko mitoitusjäteilmavirralla tai mitoitusulkoilmavirralla m<sup>3</sup>/s (suurempi näistä). Ilmanvaihtojärjestelmän sähköverkosta ottama sähköteho sisältää puhaltimien moottorien sähkötehon lisäksi mahdollisten taajuusmuuttajien ja muiden tehonsäätölaitteiden sähkötehon.” Yhtälöllä 1 voidaan laskea koko ilmanvaihtojärjestelmän ominais sähköteho. [6, s. 6 – 7.]

$$SFP = \frac{P_{tuloilmapuhaltimet} + P_{poistoilmapuhaltimet}}{q_{max}} \quad (1)$$

SFP on ilmanvaihtojärjestelmän ominais sähköteho (kW/m<sup>3</sup>/s)

$P_{tuloilmapuhaltimet}$  on tuloilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä (kW)

$P_{\text{poistoilmapuhaltimet}}$	on tuloilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä (kW)
$q_{\text{max}}$	on mitoittava jäteilmavirta tai ulkoilmavirta ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

”Ilmankäsittelykoneen, joka sisältää tulo- ja poistoilmakoneen, ominaissähköteho on puhaltimien yhteenlaskettu sähköverkosta ottama sähköteho kW jaettuna koneen tulo- tai poistoilmavirralla  $\text{m}^3/\text{s}$ , suuremmalla näistä. Sähkön ottoteho lasketaan mitoitusilmavirralla.” Yhtälöllä 2 voidaan laskea yksittäisen ilmankäsittelykoneen ominaissähköteho. [6, s. 6 – 8.]

$$SFP = \frac{P_{\text{tulo}} + P_{\text{poisto}}}{q_{\text{max}}} \quad (2)$$

SFP	on ilmankäsittelykoneen ominaissähköteho ( $\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}$ )
$P_{\text{tulo}}$	on tuloilmapuhaltimen ottama sähköteho yhteensä (kW)
$P_{\text{poisto}}$	on tuloilmapuhaltimen ottama sähköteho yhteensä (kW)
$q_{\text{max}}$	on koneen ilmavirroista suurempi (tulo tai poisto) ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

”Ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimen (ilmanvaihtokoneen) ominaissähköteho on puhaltimen sähköverkosta ottama sähköteho jaettuna puhaltimien mitoitusilmavirralla. Puhaltimen sähköverkosta ottama sähköteho sisältää puhaltimen moottorin sähkötehon lisäksi mahdollisen taajuusmuuttajan ja muun tehosäätölaitteen sähkötehon.” Yhtälöllä 3 voidaan laskea poistoilmakoneen ominaissähköteho. [6, s. 6 – 8.]]

$$SFP = \frac{P_{\text{puhallin}}}{q} \quad (3)$$

SFP	on puhaltimen ominaissähköteho ( $\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}$ )
$P_{\text{puhallin}}$	on puhaltimen ottama sähköteho yhteensä (kW)
$q$	on puhaltimen ilmavirta ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

## 6 KAMPUKSEN LÄMMÖNTALTEENOTTOJÄRJESTELMÄT

Savonniemen kampuksen matalaenergiarakennuksessa on viidessä ilmanvaihtokoneessa pyörivä lämmöntalteenottojärjestelmä, yhdessä



levylämmöntalteenottojärjestelmä ja yhdessä vesi-glykoli-lämmöntalteenottojärjestelmä.

## 6.1 Laskuissa käytetyt kaavat

Ilmanvaihdon lämmöntalteenottolaitteen tehoa voidaan mitata tuloilman lämpötilasuhteella (yhtälö 4), poistoilman lämpötilahyötysuhteella (yhtälö 5) ja vuosihyötysuhteella. Lämpötilasuhteet kertovat lämmöntalteenottolaitteen kyvystä siirtää lämpöä eri ilmavirtojen välillä tietyllä tulo- ja poistoilmavirran suhteella ja lämpötiloilla. Vuosihyötysuhde kuvaa ilmanvaihdon koko rakennuksen tai yksittäisen koneen energian talteenoton hyötysuhdetta. [9]

$$\eta_t = \frac{(t_{tLTO} - t_u)}{(t_s - t_u)} \quad (4)$$

$\eta_t$  on tuloilman lämpötilasuhte  
 $t_{tLTO}$  on tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen (°C)  
 $t_s$  on sisälämpötila (°C)  
 $t_u$  on ulkolämpötila (°C)

$$\eta_p = \frac{(t_s - t_j)}{(t_s - t_u)} \quad (5)$$

$\eta_p$  on poistoilman lämpötilasuhte  
 $t_j$  on poistoilman lämpötila LTO:n jälkeen (°C)

Yksittäisen ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenottolaitteen vuosihyötysuhteen voi laskea myös tuloilman lämpötilasuhteesta yhtälöllä 6. Näin laskettuna vuosihyötysuhde jää pienemmäksi kuin mitä se todellisuudessa on. [8, s.16.]

$$\eta_a = 0,6 \times \eta_t \quad (6)$$

$\eta_a$  on poistoilman vuosihyötysuhde

Tarkempi poistoilman vuosihyötysuhde lasketaan lämpötilan pysyvyyskäyrästä hyväksikäyttäen joko Helsingin, Jyväskylän tai Sodankylän mukaan. Tässä

tapauksessa käytetään Jyväskylän lämpötilan pysyvyyskäyrästä. Vuosihyötysuhdetta laskettaessa yhtälössä 7 tarvitaan ilmanvaihdon lämmityksen energiatarve (yhtälö 8). Lisäksi tarvitaan poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia yhtälö 9. [8, s.18 – 24.]

$$\eta_a = \frac{Q_{LTO}}{Q_{IV}} \quad (7)$$

$Q_{IV}$  on ilmanvaihdon lämmityksen energiatarve (Wh)

$Q_{LTO}$  on poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia (Wh)

$$Q_{IV=c_p \rho q_{p,i} \sum (t_s - t_u) \Delta \tau} \quad (8)$$

$c_p$  on ilman ominaislämpökapasiteetti (J/kgK)

$\rho$  on ilman tiheys (kg/m<sup>3</sup>)

$q_{p,i}$  on poistoilmavirta (m<sup>3</sup>/s)

$\Delta \tau$  on aikajakso vuodesta, jolloin lämpötilaero esiintyy (h)

$$Q_{LTO=c_p \rho q_{p,i} \sum (t_s - t_j) \Delta \tau} \quad (9)$$

Tarkasteltaessa tarkemmin ilmanvaihdon lämpöenergiatarvetta (yhtälö 10), tuloilmaan hyödynnettyä lämpöenergiaa (yhtälö 11) ja jälkilämmityspatterin energiakulutusta (yhtälö 12) otetaan huomioon ilmanvaihtokoneen käyntiajat. [10, s.22 – 25.]

$$Q_{IV} = \frac{c_p \rho q_{p,i} t_d r t_v (1 - \eta_a) \sum (t_s - t_u) \Delta \tau}{1000} \quad (10)$$

$t_d$  on IV-laitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde (h/24h)

$t_v$  on IV-laitoksen viikottainen käyntiaikasuhde (vrk/7 vrk)

$r$  on muuntokerroin

1000 on kerroin kWh

$$Q_{LTO} = Q_{IV,ei LTO} - Q_{IV} \quad (11)$$

$Q_{IV,ei LTO}$  on ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia ilman LTO:a (kWh)

$$Q_{\text{lämmitys, tuloilmapatterit}} = \frac{c_p \rho q_{t,i} t_d r t_v (T_{\text{tulo}} - T_u - \eta_{t,a} (T_s - T_u)) \Delta \tau}{1000} \quad (12)$$

$Q_{\text{lämmitys, tuloilmapatterit}}$  on tuloilman jälkilämmityspatterin energiakulutus (kWh)

$T_{\text{tulo}}$  on tuloilman lämpötilan asetusarvo (°C)

$\eta_{t,a}$  on lämmöntalteenoton tuloilman vuotuinen lämpötilasuhde

Tuloilman vuosihyötysuhde muuttuu, mikäli tulo- ja poistoilmavirran suhde muuttuu. Yhtälössä 13 lasketaan tuloilman vuosihyötysuhde ja yhtälössä 14 ilmavirtojen suhde.

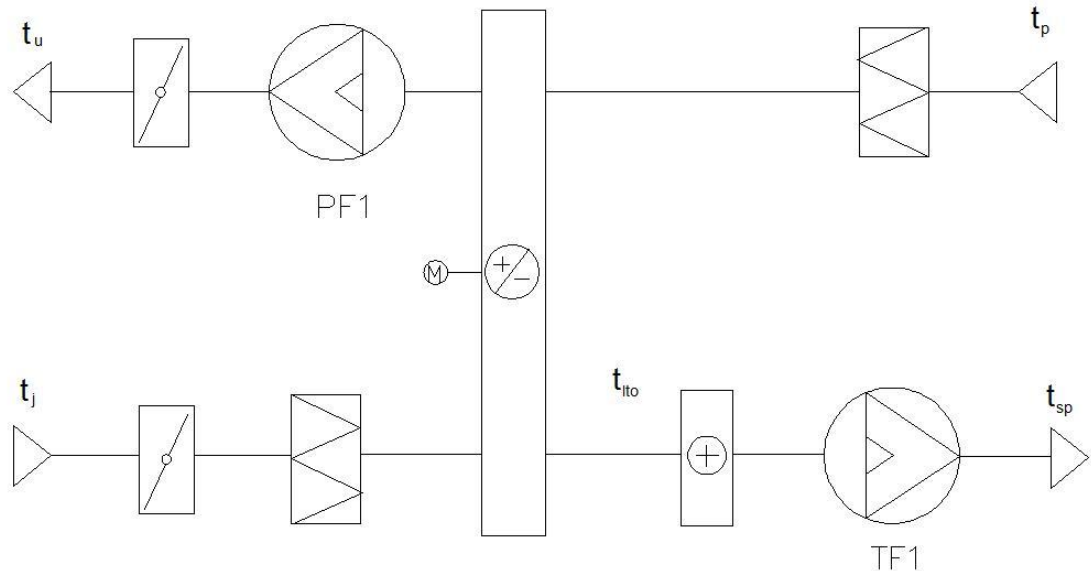
$$\eta_{t,a} = \frac{\eta_a}{R} \quad (13)$$

$R$  on tuloilmavirran suhde poistoilmavirtaan

$$R = \frac{q_t}{q_p} \quad (14)$$

## 6.2 Regeneratiivinen lämmönsiirrin

Regeneratiivisella lämmönsiirrimellä tarkoitetaan pyörivää lämmönsiirrintä, joka koostuu ilmaa läpäisevästä täytetystä sylinteristä, kiekosta. Kiekolla on suuri sisäinen pinta-ala useiden välilevyjen ansiosta. Kuvassa 1 on esitetty yksinkertaistettu kytkentäkaavio pyörivästä lämmöntalteenottojärjestelmästä. Rinnakkain olevat tulo- ja poistoilmavirrat virtaavat puolikkaan kiekon läpi vastavirtaperiaatteella. Lämpöenergiaa siirtyy poistoilmasta (-) tuloilmaan (+) kiekon pyöriessä. Kiekon materiaalista riippuen kiekko siirtää joko pelkästään lämpöä tai sitten lämpöä ja kosteutta ilmavirroista toisiinsa. Kiekkoa pyörittää yleensä taajuusmuuttajakäyttöinen moottori. [7, s. 44.10.]



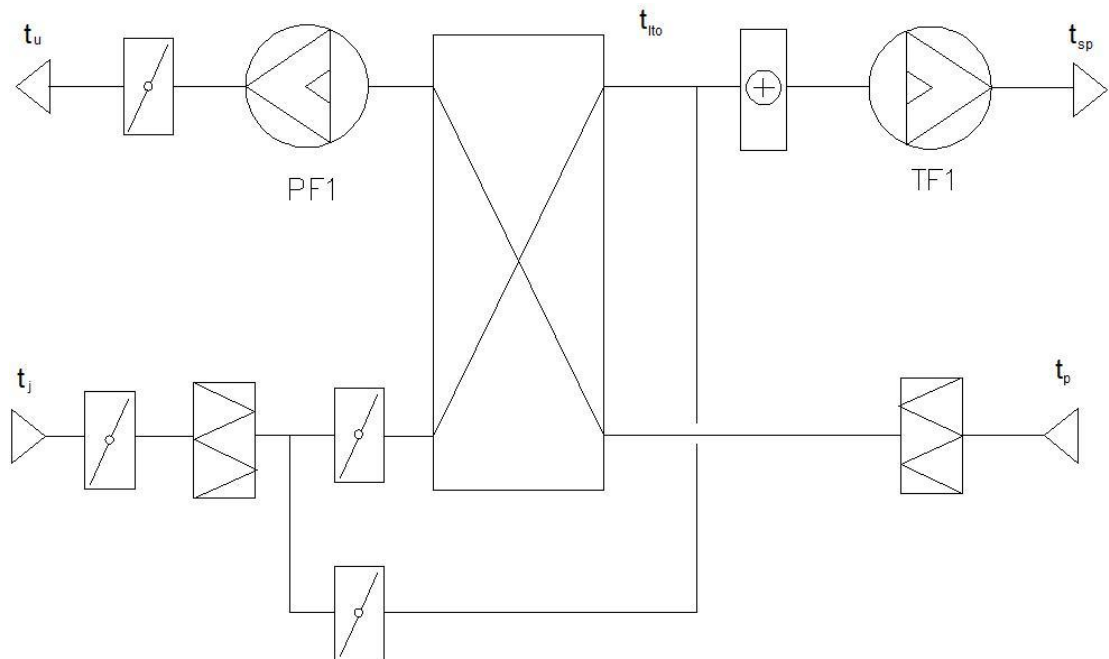
**KUVA 1. Pyörivän LTO-järjestelmän yksinkertaistettu kytkentäkaavio.**

Ilmavirrat ovat toisiinsa kosketuksissa kiekon välityksellä, jolloin on myös mahdollista, että poistoilmavirrasta siirtyy epäpuhtauksia tuloilmavirtaan. Tämä on otettava huomioon suunnittelussa, ja siihen on myös annettu määräyksiä Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2. Osassa D2 määritellään, minkä luokan poistoilmavirtaa saa tuoda pyörivän lämmönsiirtimen läpi. [6] Pyörivällä lämmöntalteenottojärjestelmällä on yleensä paras hyötysuhde verrattuna muihin lämmöntalteenottojärjestelmiin. Tulo- ja poistoilmanvaihtokone voidaan asentaa joko päällekkäin tai rinnakkain. Pyörivän lämmöntalteenottojärjestelmän tyypillinen lämpötilasuhde on 60 – 80 %. [8, s.9.]

### 6.3 Suora rekuperatiivinen lämmönsiirrin

Suoralla rekuperatiivisella lämmönsiirtimellä tarkoitetaan levylämmönsiirrintä, joka koostuu useista levyistä, jotka erottavat ilmavirrat toisistaan. Kuvassa 2 on esitetty yksinkertaistettu kytkentäkaavio levylämmöntalteenottojärjestelmästä. Lämmön siirtyminen tapahtuu levyjen läpi lämpimästä ilmavirrasta kylmempään ilmavirtaan. Levylämmönsiirtimen levyt ovat metallia, yleensä alumiinia. Levyt erottavat ilmavirrat toisistaan, ja sen seurauksena kosteutta ei siirry ilmavirroista toisiinsa. Levyt voidaan tehdä myös sellaisista materiaaleista, jotka läpäisevät kosteutta. Yksi levylämmönsiirtimen eduista on sen tiiviys: yleensä vuodot ovat hyvin pieniä. Jäätymissuojana on yleensä joko esilämmitetty ulkoilma tai lämmönsiirtimen ohitus.

Näin lämmönsiirrin pysyy sulana, mutta sen lämpötilasuhte huononee. Lämmönsiirtimen ohitusta käytetään myös kesällä, ettei tuloilma lämpene liikaa. [7, s.44.9 – 44.10.]



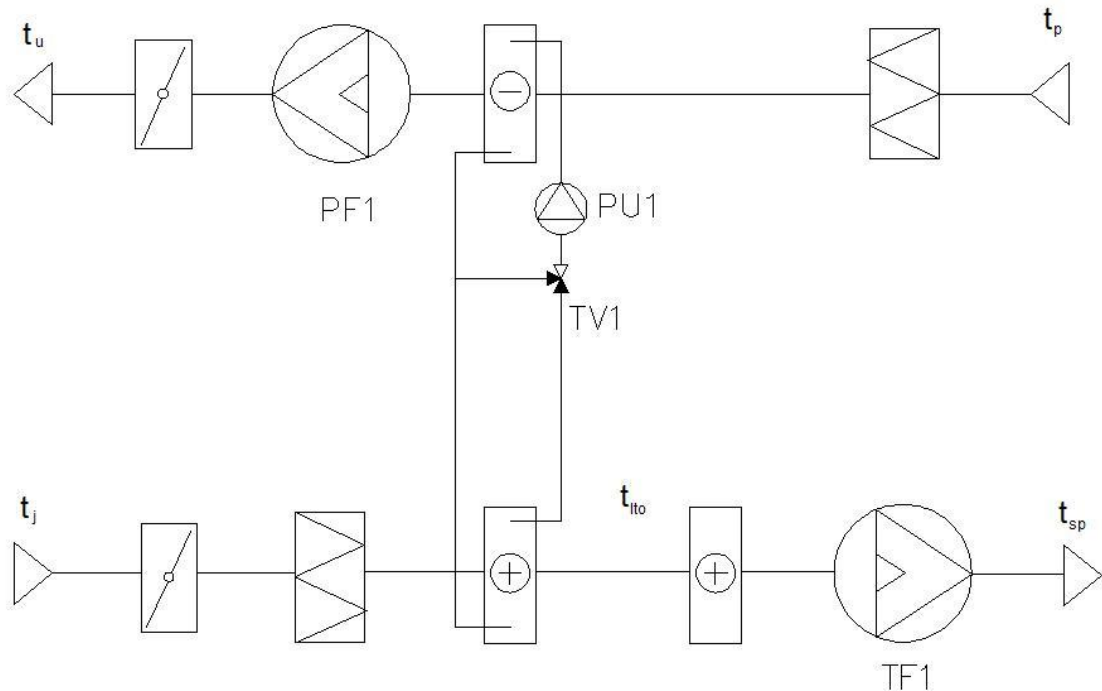
**KUVA 2. Levylämmöntalteenottojärjestelmän yksinkertaistettu kytkentäkaavio.**

Levylämmöntalteenottojärjestelmän tyypillisiä lämpötilasuhteita ovat ristivirtalevylämmönsiirtimelle 50 – 70 % ja vastavirtalevylämmönsiirtimelle 60 – 70 %. [8, s.9.]

#### 6.4 Nestekiertoinen järjestelmä

Nestekiertoisessa järjestelmässä on epäsuora rekuperatiivinen lämmönsiirrin. Liuospiirissä kiertää kylmäaine, joka on tyypillisesti n. 30-prosenttinen vesietyleeniglukooliseos. Kuvassa 3 on esitetty yksinkertaistettu kytkentäkaavio vesiglykoli-lämmöntalteenottojärjestelmästä. Liuospiirin pumppu (PU1) siirtää lämpöä poistoilmasta (-) tuloilmaan (+). Liuospiirin säätöventtiilin (TV1) tehtävä on ohjata liuoksen lämpötilaa, ettei vesi jäädy. Siirtimet toimivat höyrystin ja lauhdutin – periaatteella. Nestekiertoinen järjestelmä siirtää ainoastaan lämpöenergiaa, ei kosteutta. Järjestelmä toimii parhaiten yhtä suurilla ilmavirroilla. Tätä sovellusta voidaan käyttää silloin, kun ilmanvaihdon tulo- ja poistoilmakoneet sijaitsevat eri

tiloissa, konehuoneeseen ei mahdu levy- tai pyörivä lämmöntalteenotto ja halutaan varmistua, ettei poistoilmasta tule epäpuhtauksia tuloilmaan. [7, s. 44.12]



**KUVA 3. Vesi-glykoli-LTO-järjestelmän yksinkertaistettu kytkentäkaavio.**

Vesi-glykoli-lämmöntalteenottojärjestelmän tyyppillinen hyötysuhde on 40 – 60 %. [8, s.9.]

## 7 MITTAUKSET

Mittaukset suoritettiin 11.1. – 15.1.2010 välisenä aikana. Mittausten aikana ulkolämpötila vaihteli -13 °C:sta -3 °C:een. Mittaukset on jaettu hetkelliseen ja pitkäkestoiseen mittaukseen. Hetkellisiä mittauksia tehtiin kaikille ilmanvaihtokoneille, joissa on lämmöntalteenottojärjestelmä, paitsi IV-koneille TK6 ja TK8. Mittaukset tehtiin eri ilmavirroilla sekä eri ulkolämpötiloilla. Hetkellisten mittausten yhteydessä otettiin taajuusmuuttajilta tulo- ja poistopuhaltimen taajuudet ylös sekä tarkistettiin valvonta-alakeskuksesta (VAK) tilavuusvirrat tulo- ja poistoilmalle. Ilmavirtojen suhdetta tarvitaan energian talteenoton ja lämpötilasuhteiden laskentaan.

Pitkäkestoiset mittaukset suoritettiin kolmelle IV-koneelle, jotka olivat TK2, TK3 ja TK6. Mittaukset kestivät 5 vuorokautta IV-koneille TK2 ja TK3, sekä 4 vuorokautta

IV-koneelle TK6. Valituissa koneissa on levylämmöntalteenotto, vesi-glykoli-lämmöntalteenotto ja pyörivä lämmöntalteenotto. Rakennusautomaatiosta otettiin samalta ajalta vertailuarvoja talteen. IV-koneet valittiin sillä perusteella, että kaikista eri lämmöntalteenottojärjestelmistä saataisiin pitkäkestoinen mittaus ja pyörivällä lämmöntalteenotolla varustettu IV-kone on suurin kaikista IV-koneista, joissa on pyörivä lämmöntalteenotto.

Mittausten perusteella laskettiin kaikille lämmöntalteenotoille vuosihyötysuhde sekä hetkellinen tuloilman lämpötilasuhde. Tuloksia verrattiin automatiikan antamiin arvoihin sekä valmistajan antamiin arvoihin.

### 7.1 Mittauslaitteet

Hetkelliset mittaukset suoritettiin ilmastoinnin monitoimimittarilla TSI AirFlow 460P (kuva 4), joka on kalibroitu 10.12.2009. Mittarilla mitattiin koneen eri osien ilmavirran lämpötiloja, kosteutta sekä nopeutta. Mittarin teleskooppivarsi on metrinpituinen.



**KUVA 4. TSI AirFlow 460P.**

Pitkäkestoiset mittaukset suoritettiin EBRO EBI-20 TH –mittarilla (7 kpl) (kuva 5), joka mittaa lämpötilaa ja suhteellista kosteutta sekä ELTEK dataloggerilla (1000

Series Squirrel, model 1022), jossa on 14 kpl termopareja (kuva 6). Sillä mitataan lämpötilaa.



**KUVA 5. EBRO EBI-20 TH.**



**KUVA 6. ELTEK datalogger ja termopari.**

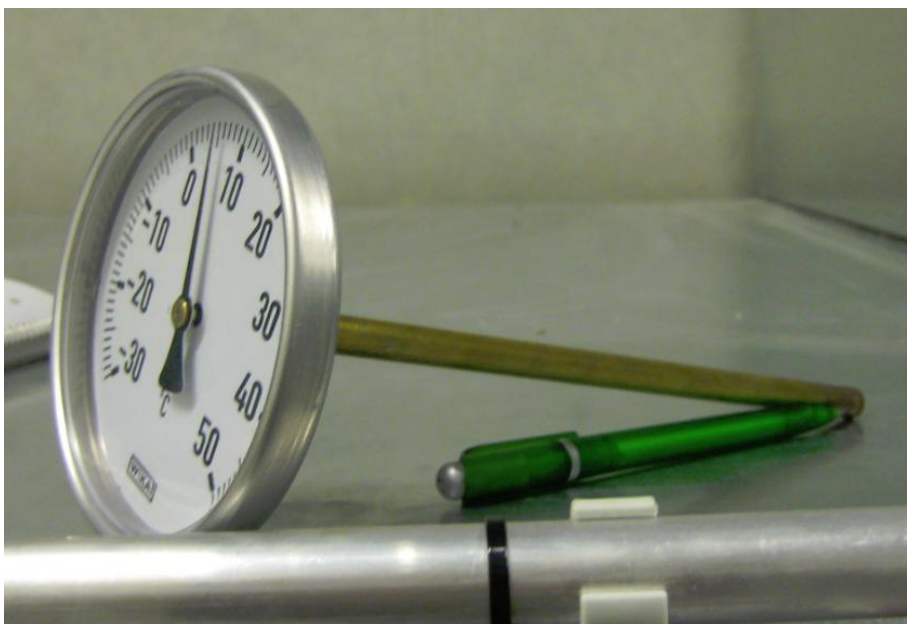
Rakennusautomaation lämpötila-anturit kanavissa ovat koko pituudeltaan mittaavia sauva-antureita. Lämmöntalteenottolaitteen välittömässä läheisyydessä lämpötila-anturit ovat poikkipinnan alalta mittaavia monipistemittaus- tai keskiarvoantureita. Kuvassa 7 rakennusautomaation mittausanturi taustalla levylämmönvaihtimen läheisyydessä pystysuunnassa.





**KUVA 7. Rakennusautomaation mittausanturi taka-alalla.**

IV-koneissa on itsessään paikalliset lämpötilamittarit ulko-, jäte- ja poistoilmassa, LTO-laitteen jälkeen sekä lämmityspatterin jälkeen tuloilmassa. Mittareista voidaan nähdä suuntaa-antavia lämpötiloja. Mittareiden mittaustuloksiin ei voi täysin luottaa, sillä mittarin varsi ulottuu vain juuri koneen vaipan läpi. Niinpä mittari ei pysty antamaan todellista kuvaa koko kammion ilman lämpötilasta. Kuvassa 8 nähdään mittarin varren pituus.



## KUVA 8. Paikallinen lämpötilamittari.

### 7.2 TK1

IV-koneelle TK1 suoritettiin hetkellisiä mittauksia kolmeen eri aikaan. Hetkellisen mittauksen mittauspisteet olivat ulkoilmassa äänenvaimentimen ja LTO-laitteen välissä, jäteilmassa äänenvaimentimen ja puhaltimen välissä, tuloilmassa LTO-laitteen ja lämmityspatterin välissä ja poistoilmassa LTO-laitteen äänenvaimentimen välissä.

IV-koneen TK1 rakennusautomaation anturit on sijoitettu tuloilmassa LTO:n jälkeen kiekon ja lämmityspatterin väliin pystysuuntaisesti, niiden välissä on n. 60 cm tilaa, jolloin lämmityspatterin ja kiekon säteily ei vaikuta kovinkaan voimakkaasti mitattuihin arvoihin. Poistoilmassa rakennusautomaation anturi on sijoitettu keskelle kammiota heti kanavamuunnoksen jälkeen. Jäteilmassa anturi on sijoitettu puhaltimen ja äänenvaimentimien väliin melko alhaalle, mutta silti rakennusautomaation mittaamat arvot pitivät hetkellisten mittausten kanssa paikkaansa. Ulkolämpötilan mittaus on suoritettu kaikille koneille yhteisestä anturista.

Hetkellisten mittausten perusteella voidaan todeta, että jäteilmasta mitatut arvot pitivät paikkaansa, ulkoilmasta ja poistoilmasta mitatut arvot heittivät n. 1 °C verran. Tuloilmasta LTO:n jälkeen mitatut arvot heittivät n. 2 °C verrattuna rakennusautomaation mittausantureiden tuloksiin. Rakennusautomaation antamat tuloilman lämpötilasuhteet heittivät n. 0 – 4 % mitatuista arvoista.

Valvonta-alakeskuksen ilmoittamat tuloilmavirrat olivat n. 100 – 103 % ja poistoilmavirrat n. 28 – 29 % lasketuista ilmavirroista, jotka on laskettu hetkellisten mittausten yhteydessä otetuista puhaltimien taajuuksista. Ilmavirrat on laskettu affiniteettisäännön mukaisesti mittauspöytäkirjasta otetuilla tilavuusvirroilla ja taajuuksilla.

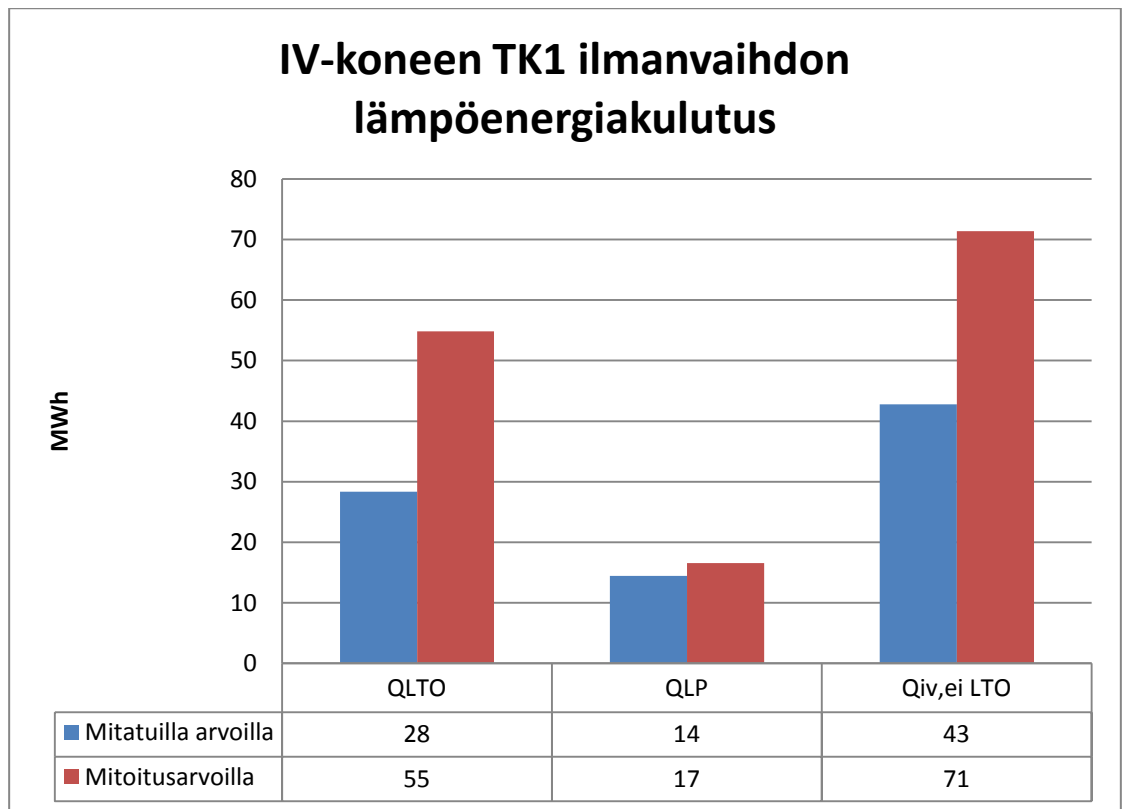
### TAULUKKO 2. TK1-mittaukset.

	Lasketut	Automaatio	VAK		Lasketut	
	$\eta_t$ %	$\eta_t$ %	$q_{vt} \text{ m}^3/\text{s}$	$q_{vp} \text{ m}^3/\text{s}$	$q_{vt} \text{ m}^3/\text{s}$	$q_{vp} \text{ m}^3/\text{s}$
<b>Mittaus 1</b>	71	74	0,9	0,2	0,90	0,71
<b>Mittaus 2</b>	71	75	0,9	0,2	0,87	0,70

<b>Mittaus 3</b>	65	65	0,9	0,2	0,88	0,70
------------------	----	----	-----	-----	------	------

Kuvasta 9 nähdään IV-koneen TK1 lämpöenergian kulutus kahdella eri ilmapirralla ja tuloilman lämpötilasuhteella. Ensimmäiset arvot ovat hetkellisistä mittauksista laskettuja arvoja ja toiset on laskettu valmistajan ilmoittaman tuloilman lämpötilasuhteen ja säädettyjen ilmavirtojen mukaan. Kuvasta 9 nähdään kuinka paljon poistoilmasta saadaan lämpöenergiaa tuloilman lämmittämiseen, kuinka paljon lämmityspatteri joutuu lämmittämään tuloilmaa ja kuinka paljon lämpöenergiaa kuluisi ilman lämmöntalteenottoa. Vuosihyötysuhde on mitatuilla arvoilla 78 % ja mitoitusarvoilla 71 %.

Kaikkien ilmanvaihtokoneiden vuosihyötysuhteet ja lämpöenergiat on laskettu jäätymissuojauksella 0 °C, joka vastaa normaalin toimistorakennuksen jäätymissuojausta. Ilmanvaihtokoneiden jäätymissuojaukset on toteutettu paineeromittauksella, jolloin jäätymissuojan tarkkaa käynnistymislämpötilaa ei tiedetä. Ilmanvaihdon energiakulutus ja siitä saatu hyöty laskettiin mitattujen arvojen ja mitoitusarvojen mukaan tämän hetken aikaohjelman mukaisesti. Kampuksen IV-koneiden aikaohjelmat ohjelmoidaan tilakohtaisten lukujärjestysten mukaisesti. Lasketut energiakulutukset eivät ota huomioon aikaohjelman muutoksia tai satunnaista aikaohjelman ulkopuolella käsikytkimellä käynnistettyä ilmanvaihtoa. Lämpöenergian kulutuslaskuissa IV-koneen TK1 aikaohjelma käynnisti koneen klo 8.00 ja pysäytti sen klo 18.00 viitenä päivänä viikossa.



**KUVA 9. TK1 lämpöenergia.**

### 7.3 TK2

IV-koneelle TK2 suoritettiin hetkellisiä mittauksia kahteen eri aikaan sekä pitkäaikainen mittaus EBRON EBI-20 TH –mittareilla. EBRON EBI-20 TH –mittarit on pyritty sijoittamaan kammion keskelle. Hetkellisen mittauksen mittauspisteet olivat ulkoilmassa suodattimen ja LTO-laitteen välissä, jäteilmassa LTO-laitteen ja puhaltimen välissä, tuloilmassa LTO-laitteen ja lämmityspatterin välissä ja poistoilmassa LTO-laitteen ja äänenvaimentimen välissä. Pitkäaikaisessa mittauksessa mittarit oli sijoitettu ulkoilmassa suodattimen ja äänenvaimentimen väliin (Liite 2), jäteilmassa LTO-laitteen ja puhaltimen väliin, tuloilmassa LTO-laitteen ja lämmityspatterin väliin ja poistoilmassa suodattimen ja äänenvaimentimen väliin.

IV-koneen TK2 rakennusautomaation anturit on sijoitettu tuloilmassa lämmityspatterin ja levylämmönsiirtimen väliin pystysuuntaisesti, niiden välissä on n. 20 cm tilaa, joten anturiin kohdistuu lämpösäteilyä lämmityspatterista. Jäteilmassa anturi on sijoitettu puhaltimen jälkeen ennen äänenvaimenninta kammion yläreunaan ja poistoilmassa suodattimen jälkeen kammioon juuri ennen kanavien lähtöjä.

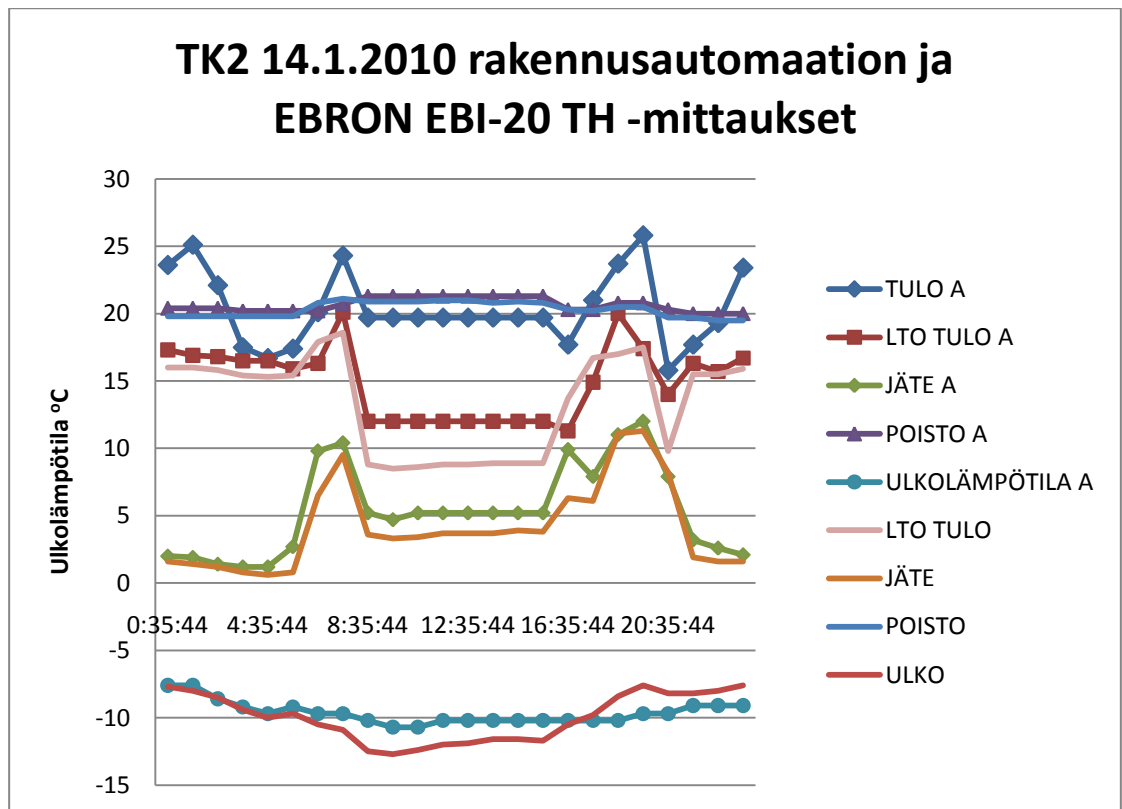
Tässäkään kohdassa anturi ei pysty mittaamaan täysin todellisia lämpötiloja, koska kammioon tulee kolme kanavaa, joiden ilmavirtojen tulisi vielä ehtiä sekoittua.

Hetkellisten mittausten perusteella voidaan todeta, että jäte-, poisto- ja ulkoilmasta mitatut arvot heittivät n. 1 °C verran ja tuloilmasta LTO:n jälkeen n. 5 °C verrattuna rakennusautomaation antamiin tuloksiin. Valvonta-alakeskuksen ilmoittamat tuloilmavirrat olivat n. 80 – 87 % ja poistoilmavirrat n. 60 – 66 % lasketuista ilmavirroista, jotka on laskettu hetkellisten mittausten yhteydessä otetuista puhaltimien taajuuksista. Rakennusautomaation tuloilman lämpötilasuhteet olivat n. 13 – 16 % suuremmat kuin mitä hetkellisten mittausten perusteella lasketut näyttävät. Samoin EBRON EBI-20 TH –mittareilla tekemien mittausten perusteella lasketut tuloilman lämpötilasuhteet ovat n. 6 – 7 % suuremmat kuin mitä hetkellisten mittausten perusteella lasketut näyttävät ja n. 6 – 8 % pienemmät kuin rakennusautomaation antamat arvot.

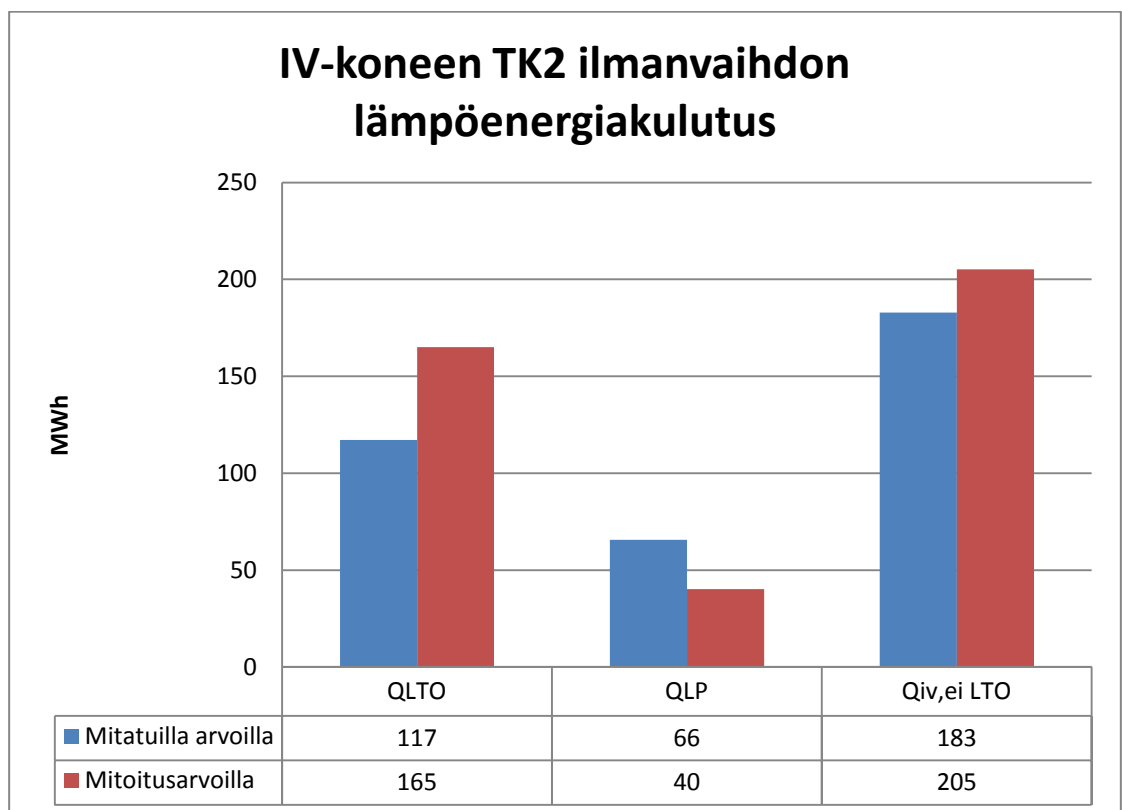
Kuvasta 10 nähdään, miten lämpötilat heittelevät yhden päivän aikana IV-koneen ollessa jatkuvasti käynnissä. Kuvassa 10 rakennusautomaation mittaustulosta kuvataan A-kirjaimella ja ilman EBRON EBI-20 TH –mittaustuloksia. Mittauksesta voidaan nähdä, kuinka mittareiden sijoitus ja mittausalueet vaikuttavat mitattuihin lämpötiloihin. Tuloilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen seuraa tuloilman lämpötilaa lämmityspatterin jälkeen. Tästä voimme päätellä, että tuloilmassa lämmöntalteenoton jälkeen oleva anturi on liian lähellä lämmityspatteria. Tämän seurauksena anturiin kohdistuus säteilyä eikä se ilmoita ilman todellista lämpötilaa. EBRON EBI-20 TH –mittarit antavat pienempiä lämpötiloja kuin mitä rakennusautomaatio antaa, sekä sen antamat arvot ovat lähellä hetkellisen mittauksen perusteella laskettuja arvoja. TK2:n vuosihyötysuhde on mitatuilla arvoilla 41 % ja mitoitusarvoilla 56 %. Lämpöenergian kulutuslaskuissa IV-kone TK2 käy koko ajan.

### TAULUKKO 3. TK2-mittaukset.

	Hetk. lasketut	Pitk. lasketut	Autom.	VAK		Lasketut	
	$\eta_t$ %	$\eta_t$ %	$\eta_t$ %	$q_{vt}$ m <sup>3</sup> /s	$q_{vp}$ m <sup>3</sup> /s	$q_{vt}$ m <sup>3</sup> /s	$q_{vp}$ m <sup>3</sup> /s
<b>Mittaus 1</b>	55	63	71	1,0	1,0	1,15	1,52
<b>Mittaus 2</b>	57	63	70	0,9	0,9	1,13	1,49



KUVA 10. TK2 rakennusautomaation ja EBRON EBI-20 TH –mittaukset.



KUVA 11. TK2 lämpöenergia.

## 7.4 TK3

IV-koneelle TK3 suoritettiin hetkellisiä mittauksia kahteen eri aikaan sekä pitkäaikainen mittaus EBRON EBI-20 TH –mittareilla. EBRON EBI-20 TH –mittarit on pyritty sijoittamaan kammion keskelle. Hetkellisen mittauksen mittauspisteet olivat ulkoilmassa sulkupellin jälkeen raitisilmakammiossa, jäteilmassa LTO-laitteen ja äänenvaimentimen välissä, tuloilmassa LTO-laitteen ja lämmityspatterin välissä ja poistoilmassa suodattimen ja sulkupellin välissä. Pitkäaikaisessa mittauksessa mittarit oli sijoitettu ulkoilmassa suodattimen ja LTO-laitteen väliin (Liite 2), jäteilmassa ei ole mittaria, tuloilmassa LTO-laitteen ja äänenvaimentimen väliin ja poistoilmassa LTO-laitteen ja suodattimen väliin.

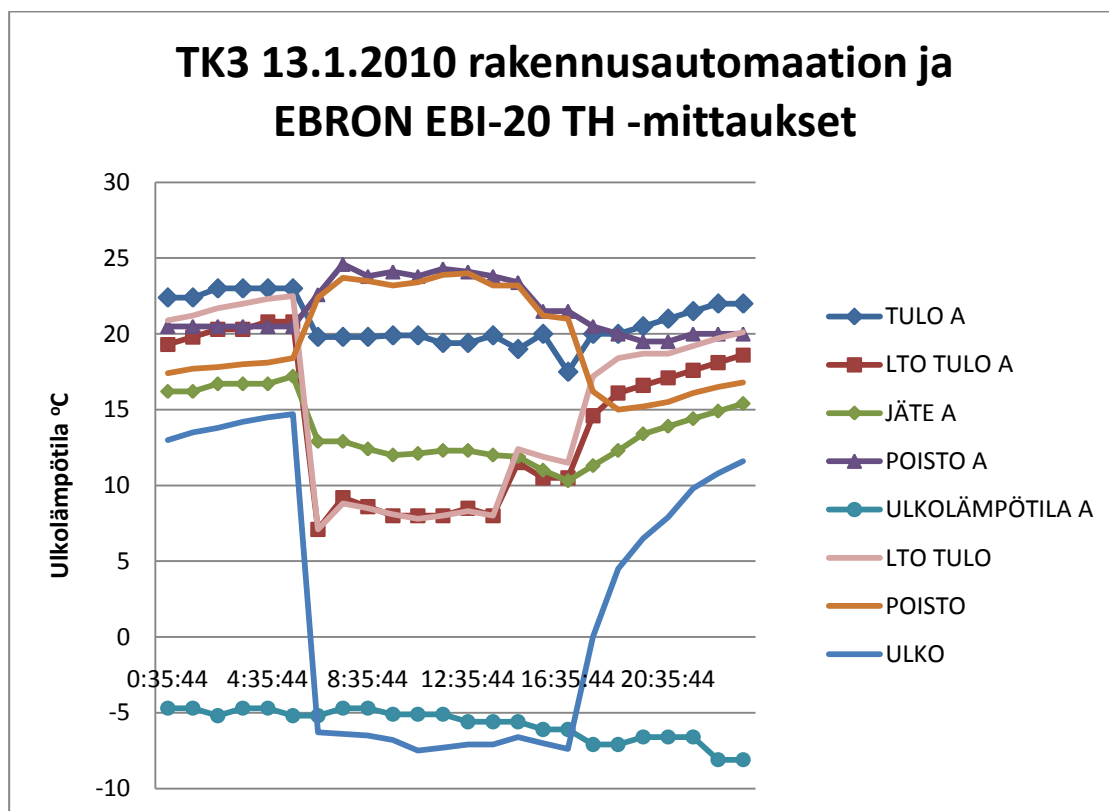
IV-koneen TK3 rakennusautomaation anturit on sijoitettu tuloilmassa LTO:n ja äänenvaimentimen väliin n. 20 cm päähän lämmönsiirtimestä, joten anturiin voi kohdistua lämpösäteilyä, joka vääristää mittausta. Jäteilmassa anturi on sijoitettu lämmönsiirtimen ja äänenvaimentimen väliin n. 20 cm päähän lämmönsiirtimestä. Poistoilmassa anturi on sijoitettu sulkupellin ja suodattimen väliin laajennusosaan.

Hetkellisten mittausten perusteella voidaan todeta, että jäteilman lämpötilat pitivät paikkaansa, tuloilmassa LTO:n jälkeen lämpötilat heittivät n. 1 °C verran, poistoilmassa n. 2 °C verran ja ulkoilmassa n. 2,5 °C verran rakennusautomaation antamiin arvoihin. IV-koneen TK3 valvonta-alakeskuksen ilmoittamat tuloilmavirrat olivat n. 59 % ja poistoilmavirrat 20 kertaa suuremmat kuin lasketut ilmavirrat, jotka ovat laskettu hetkellisten mittausten yhteydessä otetuista puhaltimien taajuuksista. Poistoilmapuhaltimen taajuusmuuttajan maksimiarvo oli säädetty 50 Hz, vaikka ilmavirrat oli säädetty 55 Hz:llä. Tämän seurauksena rakennusautomaation antamista puhaltimen taajuuksien prosenttiarvoista ei voida laskea todellisia ilmavirtoja, eikä hetkellisten mittausten yhteydessä otetuista taajuuksista saada laskettua todellista ilmavirtaa, ainoastaan suuruusluokka. Rakennusautomaation ilmoittamat tuloilman lämpötilasuhteet olivat n. 2 – 4 % pienemmät kuin mitä hetkellisten mittausten perusteella lasketut lämpötilasuhteet osoittivat. EBRON EBI-20 TH –mittareilla tekemien mittausten perusteella lasketut lämpötilasuhteet näyttivät n 1 % suuremmilta kuin hetkellisten mittausten perusteella lasketut. Kuvasta 12 nähdään yhden päivän lämpötilat koneen eri osissa ja kuinka lämpötilat lähtevät tasaantumaan koneen eri

osissa aikaohjelman pysäyttäessä koneen. Kuvassa 12 rakennusautomaation mittaustulosta kuvataan A-kirjaimella ja ilman EBRON EBI-20 TH –mittaustuloksia. TK3:lla on aikaohjelma, joka käynnistää koneen klo 6.00 ja sammuttaa sen klo 17.00. Ainoastaan ulkoilmasta EBRON EBI-20 TH –mittari näytti pienempiä arvoja kuin rakennusautomaatio, muutoin lämpötilat olivat suhteellisen samankaltaisia koneen ollessa käynnissä. TK3:lta ei mitattu jäteilman lämpötilaa EBRON EBI-20 TH –mittarilla. TK3:n vuosihyötysuhde on mitoitusarvoilla 36 %. Lämpöenergian kulutuslaskuissa IV-koneen TK3 aikaohjelma käynnisti koneen klo 6.00 ja pysäytti sen klo 17.00 viitenä päivänä viikossa.

#### TAULUKKO 4. TK3-mittaukset.

	Hetk. mitattu	Pitk. mitattu	Autom.	VAK		Laskettu	
	$\eta_t$ %	$\eta_t$ %	$\eta_t$ %	$q_{vt}$ m <sup>3</sup> /s	$q_{vp}$ m <sup>3</sup> /s	$q_{vt}$ m <sup>3</sup> /s	$q_{vp}$ m <sup>3</sup> /s
Mittaus 1	49	50	47	1,18	40	2,01	2
Mittaus 2	47	48	43	1,16	40	1,98	2



KUVA 12. TK3 rakennusautomaation ja EBRON EBI-20 TH –mittaukset.

#### 7.5 TK4



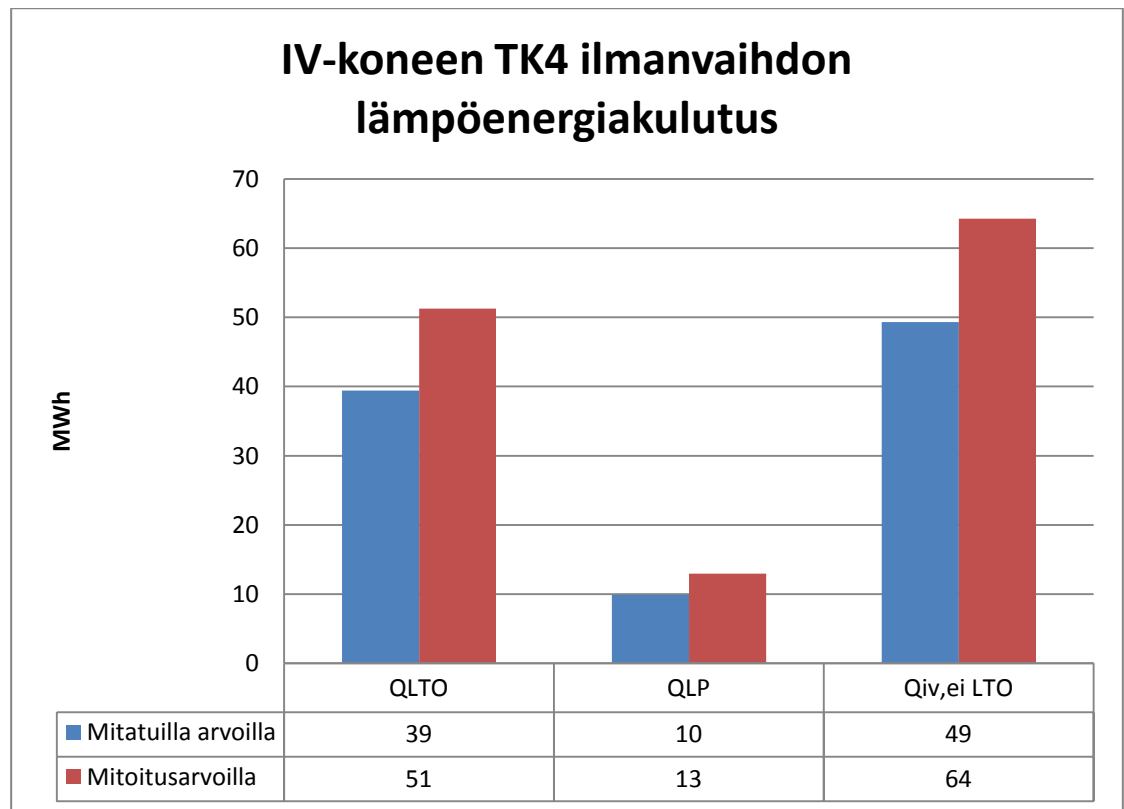
IV-koneelle TK4 suoritettiin hetkellisiä mittauksia kolmeen eri aikaan. Hetkellisen mittauksen mittauspisteet olivat ulkoilmassa sulkupellin jälkeen ulkoilmakammiossa, jäteilmassa äänenvaimentimen jälkeen jäteilmakammiossa, tuloilmassa LTO-laitteen ja lämmityspatterin välissä ja poistoilmassa LTO-laitteen ja suodattimen välissä.

IV-koneen TK4 rakennusautomaation anturit on sijoitettu tuloilmassa lämmityspatterin ja levylämmönsiirtimen väliin pystysuuntaisesti. Niiden välissä on n. 40 cm tilaa, joten anturiin voi kohdistua lämpösäteilyä lämmityspatterista ja kiekosta. Jäteilmassa anturi on sijoitettu puhaltimen ja kiekon väliin pystysuuntaisesti reunaan n. 10 cm päähän kiekosta. Poistoilmassa anturi on sijoitettu äänenvaimentimen jälkeen kammioon, josta lähtee 2 kanavaa.

Hetkellisten mittausten perusteella voidaan todeta, että rakennusautomaation mittaamat lämpötilat eivät pidä täysin paikkaansa. Poistoilmasta mitatut arvot heittivät n. 0,5 °C, ulkoilmassa n. 1 °C, jäteilmassa ja tuloilmassa LTO:n jälkeen mitatut arvot heittivät n. 3 °C verrattuna rakennusautomaation antureihin. Rakennusautomaation ilmoittamat tuloilman lämpötilasuhteet olivat n. 4 – 10 % suuremmat kuin mitä lasketut. Valvonta-alakeskuksen ilmoittamat tuloilmavirrat erosivat n. 152 – 173 % ja poistoilmavirrat n. 40 – 120 % lasketuista ilmavirroista, jotka on laskettu hetkellisten mittausten yhteydessä otetuista puhaltimien taajuuksista. TK4:n vuosihyötysuhde on mitatuilla arvoilla 63 % ja mitoitusarvoilla 64 %. Lämpöenergian kulutuslaskuissa IV-koneen TK4 aikaohjelma käynnisti koneen klo 4.00 ja pysäytti sen klo 20.00 viitenä päivänä viikossa.

#### TAULUKKO 5. TK4-mittaukset.

	Mitattu	Automaatio	VAK		Laskettu	
	$\eta_t$ %	$\eta_t$ %	$q_{vt} \text{ m}^3/\text{s}$	$q_{vp} \text{ m}^3/\text{s}$	$q_{vt} \text{ m}^3/\text{s}$	$q_{vp} \text{ m}^3/\text{s}$
Mittaus 1	76	85	1,2	0,7	0,75	0,84
Mittaus 2	76	86	1,4	1,1	0,81	0,92
Mittaus 3	76	80	1,0	0,3	0,66	0,75



**KUVA 13. TK4 lämpöenergia.**

## 7.6 TK5

IV-koneelle TK5 suoritettiin hetkellisiä mittauksia kolmeen eri aikaan. Hetkellisen mittauksen mittauspisteet olivat ulkoilmassa sulkupellin jälkeen ulkoilmakammiossa, jäteilmassa puhaltimen ja äänenvaimentimen välissä, tuloilmassa LTO-laitteen ja lämmityspatterin välissä ja poistoilmassa LTO-laitteen ja suodattimen välissä.

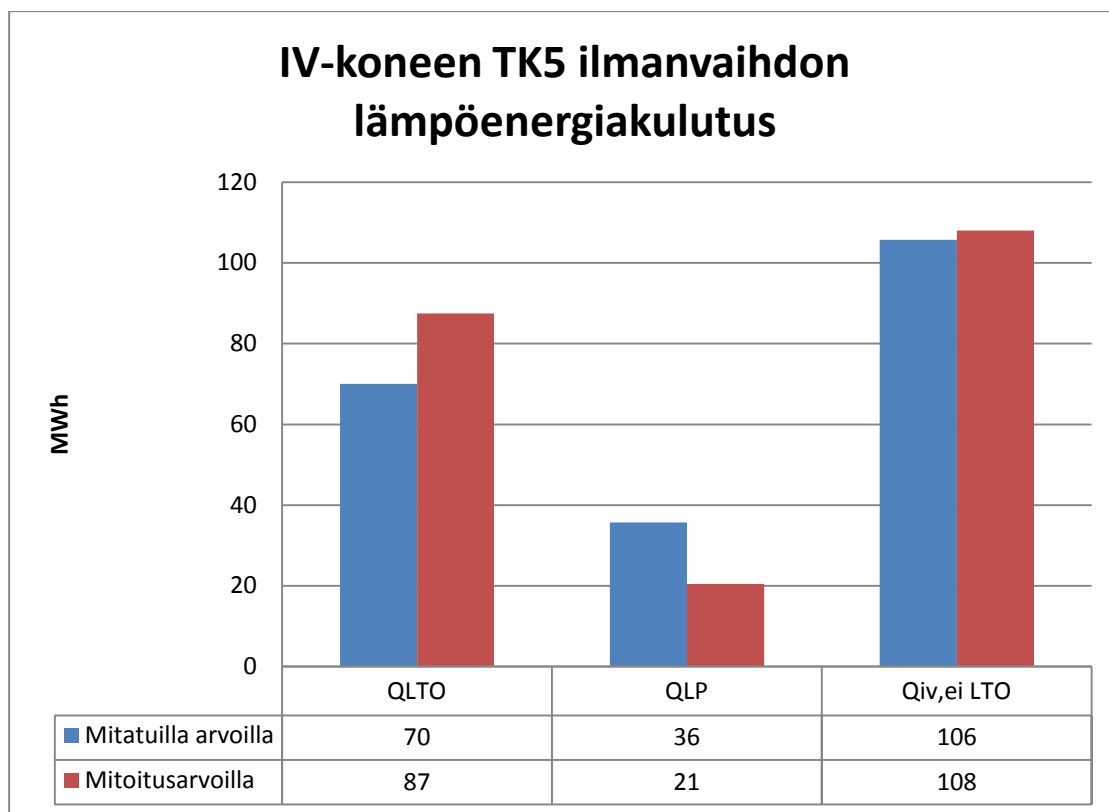
IV-koneen TK5 rakennusautomaation anturit on sijoitettu tuloilmassa lämmityspatterin ja levylämmönsiirtimen väliin pystysuuntaisesti. Niiden välissä on n. 50 cm tilaa, joten on mahdollista, että lämmityspatterin ja kiekon lämpösäteily vaikuttaa anturiin. Jäteilmassa anturi on sijoitettu puhaltimen ja äänenvaimentimen väliin yläreunaan ja poistoilmassa suodattimen jälkeen kammioon yläreunaan.

Hetkellisten mittausten perusteella voidaan todeta, että rakennusautomaation mittaamat lämpötilat eivät pidä täysin paikkaansa. Ulkoilmasta ja poistoilmasta mitatut arvot heittivät n. 1 °C verran, jäteilmassa n. 6 °C verran ja tuloilmasta LTO:n jälkeen n. 8 °C verran rakennusautomaation arvoihin. Valvonta-alakeskuksen ilmoittamat tuloilmavirrat olivat n. 117 – 129 % ja poistoilmavirrat n. 26 – 68 %

lasketuista ilmavirroista, jotka on laskettu hetkellisten mittausten yhteydessä otetuista puhaltimien taajuuksista. Rakennusautomaation ilmoittamat tuloilman lämpötilasuhteet olivat n. 24 – 41 % suuremmat kuin mitä mitatut. TK5:n vuosihyötysuhde on mitatuilla arvoilla 71 % ja mitoitusarvoilla 72 %. Lämpöenergian kulutuslaskuissa IV-koneen TK5 aikaohjelma käynnisti koneen klo 4.00 ja pysäytti sen klo 20.00 viitenä päivänä viikossa.

**TAULUKKO 6. TK5-mittaukset.**

	Mitattu	Automaatio	VAK		Laskettu	
	$\eta_t$ %	$\eta_t$ %	$q_{vt}$ m <sup>3</sup> /s	$q_{vp}$ m <sup>3</sup> /s	$q_{vt}$ m <sup>3</sup> /s	$q_{vp}$ m <sup>3</sup> /s
<b>Mittaus 1</b>	61	86	1,77	0,83	1,39	1,31
<b>Mittaus 2</b>	62	86	1,75	0,81	1,50	1,19
<b>Mittaus 3</b>	44	85	1,75	0,25	1,47	0,98



**KUVA 14. TK5 lämpöenergia.**

## 7.7 TK6

IV-koneelle TK6 suoritettiin pitkäaikaan mittaus ELTEK dataloggerilla. Anturit oli sijoitettu ulkoilmassa sulkupellin ja suodattimen väliin (Liite 2), jäteilmassa LTO-

laitteen ja puhaltimen väliin, tuloilmassa LTO-laitteen ja lämmityspatterin väliin ja poistoilmassa äänenvaimentimen ja LTO-laitteen väliin.

Rakennusautomaation ilmoittamat tuloilman lämpötilasuhteet olivat n. 15 – 30 % pienemmät kuin mitä ELTEK datalogger oli mitannut. Kuvasta 15 nähdään yhden päivän lämpötilat koneen eri osissa, TK6 käy koko ajan.

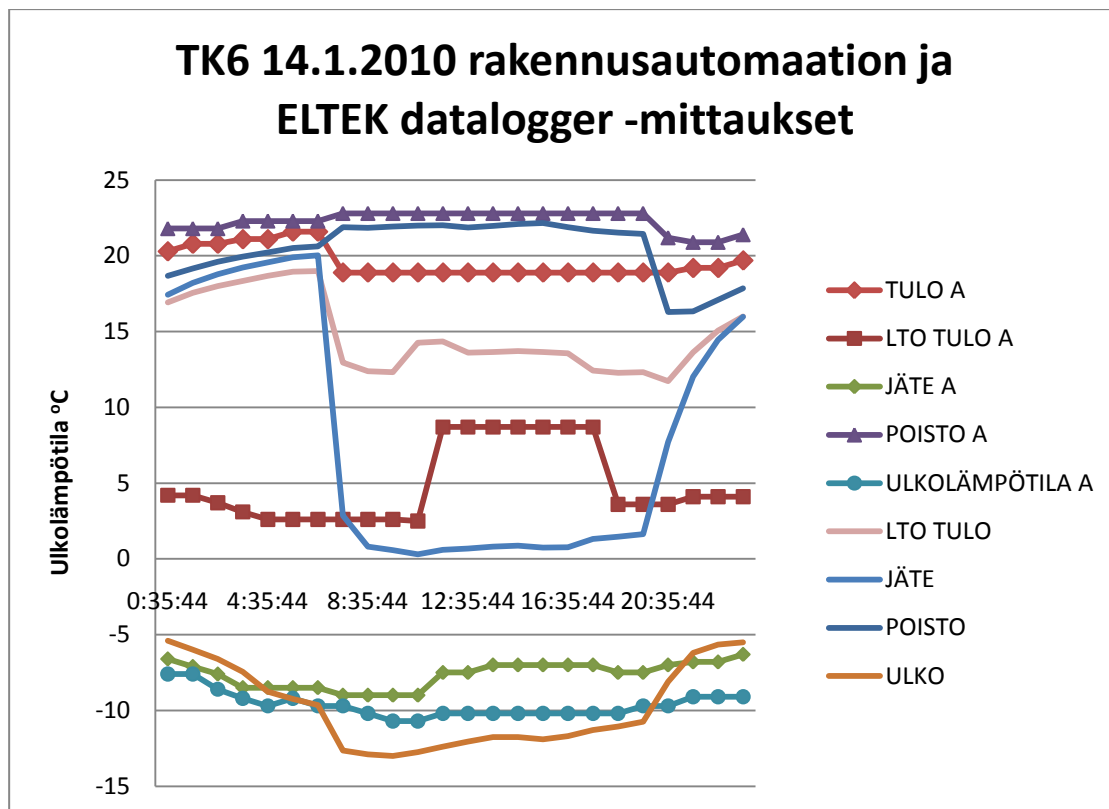
Kuvasta 15 voidaan nähdä lämpötiloissa suuria eroja rakennusautomaation ja ELTEK dataloggerin mittausten välillä. Kuvassa 15 rakennusautomaation mittaustulosta kuvataan A-kirjaimella ja ilman ELTEK datalogger –mittaustuloksia. ELTEK dataloggerin anturien sijoitus on epäonnistunut. Tuloilmaan LTO:n jälkeen sijoitetut anturit ovat liian lähellä lämmityspatteria. Poistoilman puhaltimen tehostuessa tuloilma LTO:n jälkeen lähtee laskuun, koska lämmityspatterin ei tarvitse lämmittää tuloilmaa enää niin paljon, ja puhaltimen taajuuden pienetessä lämpötila lähtee kasvuun lämmityspatterin lämmityksen tarpeen kasvaessa.

Samoin jäteilman anturin oli sijoitettu epäedustavaan paikkaan. Anturit olivat liian lähellä kulmarakenteen sisälaitaa. Näin ollen suurin osa ilmavirran lämpötilasta jäi tulkittamatta. Lisäksi anturien ollessa johtoja ne jäivät roikkumaan seinämän laitaa vasten. Rakennusautomaation mittausanturien sijoituksessa on myös vaikutusta niiden tuloksiin. Jäteilmassa anturi oli sijoitettu samaiseen kulmarakenteeseen kuin ELTEK dataloggerin anturit, lisäksi puhallin on heti anturin vieressä. Tässä tapauksessa rakennusautomaation anturi antaa oikeammanlaisen tuloksen kuin ELTEK dataloggerin anturit, koska rakennusautomaation anturi on pitkävärtinen. Tuloilmassa LTO:n jälkeen rakennusautomaation anturille ei ole paljon tilaa. Kiekon ja lämmityspatterin välissä on vain n. 40 cm, joten anturiin voi kohdistua lämpötilan säteilyä lämmityspatterista sekä kiekosta. Poistoilman rakennusautomaation anturi on sijoitettu koneen poistoilmakammion päätyyn juuri ennen kanavien lähtöjä. Tässäkään kohdassa anturi ei pysty mittaamaan täysin todellisia lämpötiloja, koska kammioon tulee 2 kanavaa, joiden ilmavirtojen tulisi vielä ehtiä sekoittua. TK6:n vuosihyötysuhde on mitoitusarvoilla 77 %. IV-kone TK6 käy koko ajan.

#### TAULUKKO 7. TK6-mittaukset.

	Pitk. mitattu	Automaatio	Laskettu	
	$\eta_t$ %	$\eta_t$ %	$q_{vt} \text{ m}^3/\text{s}$	$q_{vp} \text{ m}^3/\text{s}$

Mittaus 1	78	63	1,5	1,5
Mittaus 2	75	60	1,5	1,4
Mittaus 3	75	60	1,5	1,4
Mittaus 4	74	44	1,5	1,2



**KUVA 15. TK6: rakennusautomaation ja ELTEK dataloggerin mittaukset.**

## 7.8 TK7

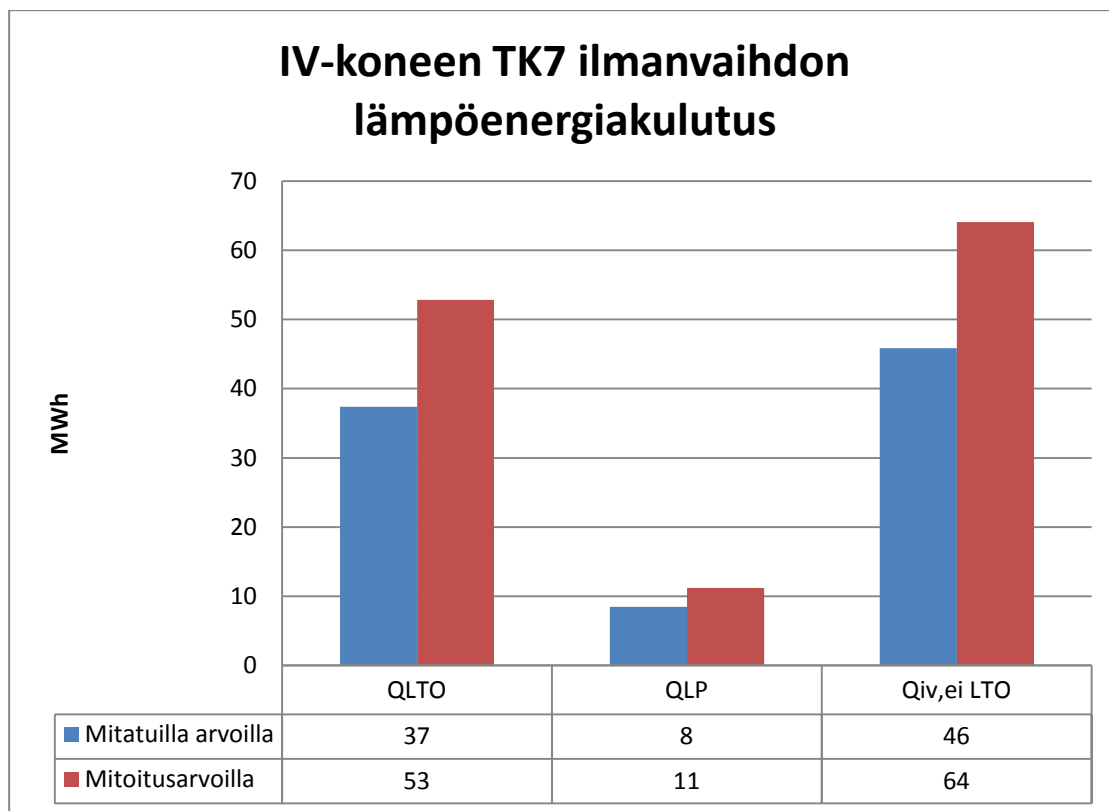
IV-koneelle TK7 suoritettiin hetkellisiä mittauksia kolmeen eri aikaan. Hetkellisen mittauksen mittauspisteet olivat ulkoilmassa suodattimen ja LTO-laitteen välissä, jäteilmassa äänenvaimentimen ja puhaltimen välissä, tuloilmassa LTO-laitteen ja lämmityspatterin välissä ja poistoilmassa LTO-laitteen ja äänenvaimentimen välissä.

IV-koneen TK7 rakennusautomaation anturit on sijoitettu tuloilmassa lämmityspatterin ja levylämmönsiirtimen väliin pystysuuntaisesti. Niiden välissä on n. 60 cm tilaa. Jäteilmassa anturi on sijoitettu puhaltimen jälkeen ennen kulmarakennetta ja poistoilmassa suodattimen jälkeen kammioon juuri ennen kanavien lähtöjä. Tässäkään kohdassa anturi ei pysty mittaamaan täysin todellisia lämpötiloja, koska kammioon tulee 2 kanavaa, joiden ilmavirtojen tulisi vielä keretä sekoittua.

Hetkellisten mittausten perusteella voidaan todeta, että rakennusautomaation mittaamat lämpötilat eivät pidä täysin paikkaansa. Jäteilmasta, ulkoilmasta ja tuloilmasta LTO:n jälkeen mitatut arvot heittivät n. 1 °C, poistoilmasta mitatut arvot heittivät n. 2 °C rakennusautomaation antureihin verrattuna. Rakennusautomaation ilmoittamat tuloilman lämpötilasuhteet olivat n. 2 – 9 % pienemmät kuin mitatut. Valvonta-alakeskuksen ilmoittamat tuloilmavirrat olivat n. 19 – 22 % ja poistoilmavirrat n. 75 – 106 % lasketuista ilmavirroista, jotka on laskettu hetkellisten mittausten yhteydessä otetuista puhaltimien taajuuksista. TK7:n vuosihyötysuhde on mitatuilla arvoilla 69 % ja mitoitusarvoilla 72 %. Lämpöenergian kulutuslaskuissa IV-koneen TK7 aikaohjelma käynnisti koneen klo 7.00 ja pysäytti sen klo 20.00 viitenä päivänä viikossa.

**TAULUKKO 8. TK7-mittaukset.**

	Mitattu	Automaatio	VAK		Laskettu	
	$\eta_t$ %	$\eta_t$ %	$q_{vt}$ m <sup>3</sup> /s	$q_{vp}$ m <sup>3</sup> /s	$q_{vt}$ m <sup>3</sup> /s	$q_{vp}$ m <sup>3</sup> /s
<b>Mittaus 1</b>	82	73	0,18	0,79	0,93	1,06
<b>Mittaus 2</b>	73	71	0,18	0,84	0,84	0,80
<b>Mittaus 3</b>	73	69	0,18	0,84	0,83	0,79



**KUVA 16. TK7:n lämpöenergia.**

## 7.9 TK8

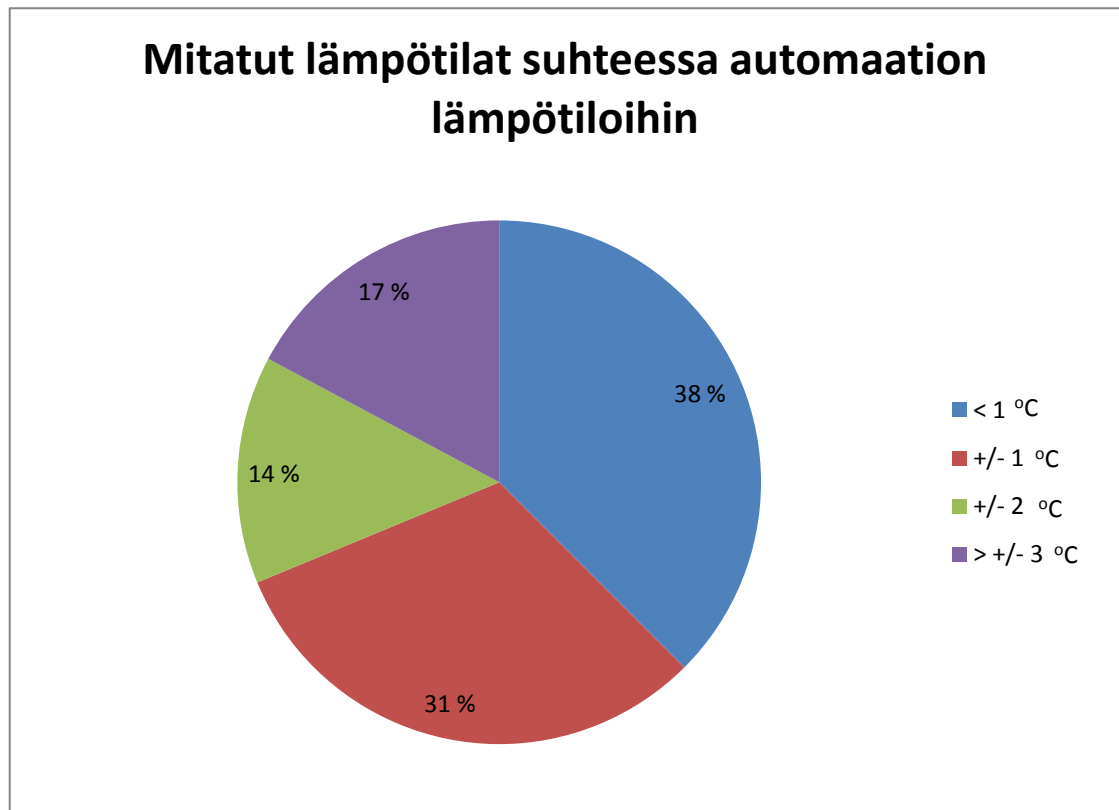
IV-koneelle TK8 ei tehty hetkellisiä tai pitkäaikaisia mittauksia koneen sijainnin takia. Rakennusautomaatio ei mittaa koneen ilmavirtoja ja puhaltimen taajuuksia eikä se laske hyötysuhteita. Rakennusautomaation antamista lämpötiloista lasketut hyötysuhteet eivät pidä paikkaansa, sillä ne ylittävät 100 %. LTO:n jälkeen tuloilmassa ennen lämmityspatteria oleva anturi antaa välillä suurempia arvoja kuin mitä lämmityspatterin jälkeen oleva anturi. Syy, miksi hyötysuhde ja tuloilman lämpötila ovat niin korkeita, on rakennusautomaation anturin sijoitus. Anturi on sijoitettu LTO:n jälkeen liian lähelle lämmityspatteria, joten lämmityspatterin säteily vaikuttaa anturiin ja sitä kautta mittaustuloksiin.

## 8 YHTEENVETO

IV-koneiden TK1 – TK5 ja TK7 valvonta-alakeskuksien näyttämät tulo- ja poistoilmavirrat poikkesivat lasketuista ilmavirroista. Ilmavirrat eivät muutenkaan vaikuttaneet järkeviltä. Erot olivat n.  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  tulo- ja poistopuolella laskettuihin nähden. Lisäksi TK3:n poistopuolen ilmavirta näytti  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ , joka oli  $38 \text{ m}^3/\text{s}$  suurempi kuin laskettu. Tulo- ja poistoilmavirtojen erot vaikuttivat myös todella erikoisilta. Ilmavirrat saattoivat olla tulo- tai poistopuolella 2 – 4 –kertaiset toisiinsa nähden. Näin voimme todeta, että rakennusautomaation näyttämät ilmavirrat eivät ole todenmukaisia, tai muuten rakennuksen ilmanvaihto ei ole sellainen kuin se on suunniteltu.

Mitatut lämpötilat poikkesivat rakennusautomaation lämpötiloista kuvan 17 mukaisesti. Mittausten perusteella voidaan todeta, että ainakin n. 40 % mitatuista mittareista näytti oikeaa tulosta. Loput n. 60 % mittareista tulokset olivat epätarkkoja. Suurin osa (64 %) yli  $3 \text{ }^\circ\text{C}$  heittäneistä rakennusautomaation antamista lämpötiloista oli LTO:n jälkeen tuloilmasta mitattuja. Yksi syy tälle on lämmityspatterin säteily. Rakennusautomaation mittaustuloksiin vaikuttaa niiden sijainti. Suurin osa antureista on sijoitettu epäedustaviin paikkoihin, kuten kammion reunaan, kulmarakenteeseen, puhaltimen läheisyyteen tai liian lähelle lämmityspatteria. Varsinkin LTO-laitteen ja lämmityspatterin välissä oleva anturi on altis lämpösäteilylle. Rakennusautomaation antureiden mittaustuloksiin voi vaikuttaa säteilyn ja sijoituksen lisäksi johtumisvirheet

ja antureiden likaantuminen. Säteilyn vaikutuksen voi korjata laittamalla antureihin säteilysuojat.



**KUVA 17. Lämpötilojen suhteet.**

Lasketut ilmanvaihtokoneiden vuosihyötysuhteet ja lämpöenergian kulutukset ovat suuntaa-antavia lähtötietojen epätarkkuuden vuoksi. Vuosihyötysuhteet ovat hetkellisten mittausten perusteella laskettujen arvojen mukaan 41 – 78 % ja valmistajan arvojen mukaan 36 – 77 %. Vuosihyötysuhteiden suuri vaihteluväli selittyy ilmavirtojen suhteesta. Osalla koneista poistoilmavirta on reilusti suurempi kuin tuloilmavirta ja taas osalla koneista tämä on toisinpäin. VTT:n asettama tavoite laajennusosan lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi oli 62 %. Vaikka lämpöenergian kulutuslaskut eivät pidä täysin paikkaansa, niistä saadaan hyvä kuva lämpöenergian kulutuksen suuruusluokasta. Laskuista voidaankin todeta, että lämmöntalteenottolaitteet ovat erittäin merkittäviä lämpöenergian kulutuksen kannalta. Lämmöntalteenottolaitteen lisäksi on myös erittäin tärkeää tarkastella ilmanvaihdon tarpeenmukaista ohjausta. Näiden yhteisvaikutuksella saadaan vähennettyä energiakulutusta. IV-koneissa TK4 ja TK5 aikaohjelma käynnisti koneet jo klo 4.00. Ilmanvaihtokoneiden vaikutusalueet ovat työhuoneet, ruokala ja parvi.



Miksi koneet käynnistyvät jo näin aikaisin? Käyttäjät tulevat näihin tiloihin vasta seitsemän jälkeen yleensä kahdeksaksi. Mikäli IV-koneiden aikaohjelmia muokataan niin, että ilmanvaihto käynnistyy klo 7.00, voidaan arviolta saada säästöjä kummaltakin koneelta yhteensä n. 9 MWh vuodessa hetkellisten mittausten perusteella ja n. 6 MWh vuodessa valmistajan arvojen mukaan laskettaessa. Aikaohjelman muutos laskisi ilmanvaihdon keskimääräistä kulutusta vuodessa n. 3 – 4 %.

Laskujen perusteella eniten lämpöenergiaa määrällisesti kulutti IV-kone TK2. IV-kone TK2 kulutti hetkellisten mittausten perusteella tehtyjen laskujen mukaan n. 66 MWh/vuosi ja valmistajan antamien arvojen mukaan 40 MWh/vuosi. Syy, miksi TK2 kulutti eniten on, että se käy koko ajan. Vähiten kulutti IV-kone TK7. IV-kone TK7 kulutti hetkellisten mittausten perusteella tehtyjen laskujen mukaan 8 MWh/vuosi ja valmistajan antamien arvojen mukaan 11 MWh/vuosi. Syy tälle on käyntiajan lyhyys.

Viikon aikana mitattu kaukolämmön kulutus laajennusosalla oli 7,8 MWh, ja ilmanvaihdon lämmityksen kulutus oli 4,8 MWh, joka oli n. 60 % koko kaukolämmön kulutuksesta. Savonniemen kampuksen laajennusosan kaukolämmön kulutus on keskimäärin n. 340 MWh vuodessa, joka alittaa VTT:n antaman tavoitearvon 364 MWh vuodessa. Ilmanvaihdon lämpöenergian kulutus on keskimäärin n. 210 MWh vuodessa, joka on laajennusosan koko lämpöenergian kulutuksesta n. 62 %. Lämpöenergian keskimääräiset kulutukset laajennusosan kaukolämmölle ja ilmanvaihdolle on laskettu keskiarvona laajennusosan valmistumisesta mittaushetkeen 15.1.2010 kulutuksista.

Mielestäni kiinteistö tarvitsee jonkun henkilön, joka on perehtynyt kyseisen kiinteistön järjestelmään ja laitteisiin sekä osaa tulkita rakennusautomaation antamia tuloksia. Rakennusautomaatiota on seurattava jatkuvasti, jotta siitä saataisiin suurin hyöty irti. Kiinteistöautomaatiosta nähtyihin ongelmiin on puututtava välittömästi ja tulosten syyt on selvitettävä. Näin taataan rakennuksen hyvä sisäilman laatu sekä energiatehokkuus. Käytön ja huollon merkitys on suuri, jotta saadaan rakennus toimimaan halutulla tavalla koko sen elinkaaren ajan. Kiinteistöä tulee tarkkailla riittävästi, jotta voidaan nähdä ja ennakoida tulevat ongelmat. Näin päästään korjaamaan viat ennen kuin ne aiheuttavat suurempia ongelmia. Tällä säästetään rakennusta ja rahaa.

Ennen kuin ehdin aloittaa insinöörityötäni, olin saanut sellaisen kuvan Savonniemen kampuksen laajennusosasta, että siellä ei ole kaikki kohdallaan. Tätä työtä tehdessäni ensimmäinen huomionkohteeni oli rakennusautomaation antamat tulokset varsinkin, kun niitä vertasi omiin mittauksiin ja valvonta-alakeskuksen antamiin arvoihin. Työni tavoitteet onnistuivat suurimmalta osalta. Lämmöntalteenottolaitteista saatu hyöty saatiin selvitetyn teoreettisella tasolla ja myös toiminta ja rakennusautomaation mittaustulosten paikkansapitävyys.

Insinöörityötäni tehdessä opin, miten tärkeää on suunnitella mittaukset huolella ja valmistella niitä riittävän ajoissa sekä varautua yllätyksiin. Mittaukseni onnistuivat hyvin, vaikka niitä yllätyksiäkin tuli matkan varrella. Kaiken kaikkiaan insinöörityöni aihe oli omasta mielestäni haastava ja mielenkiintoinen.

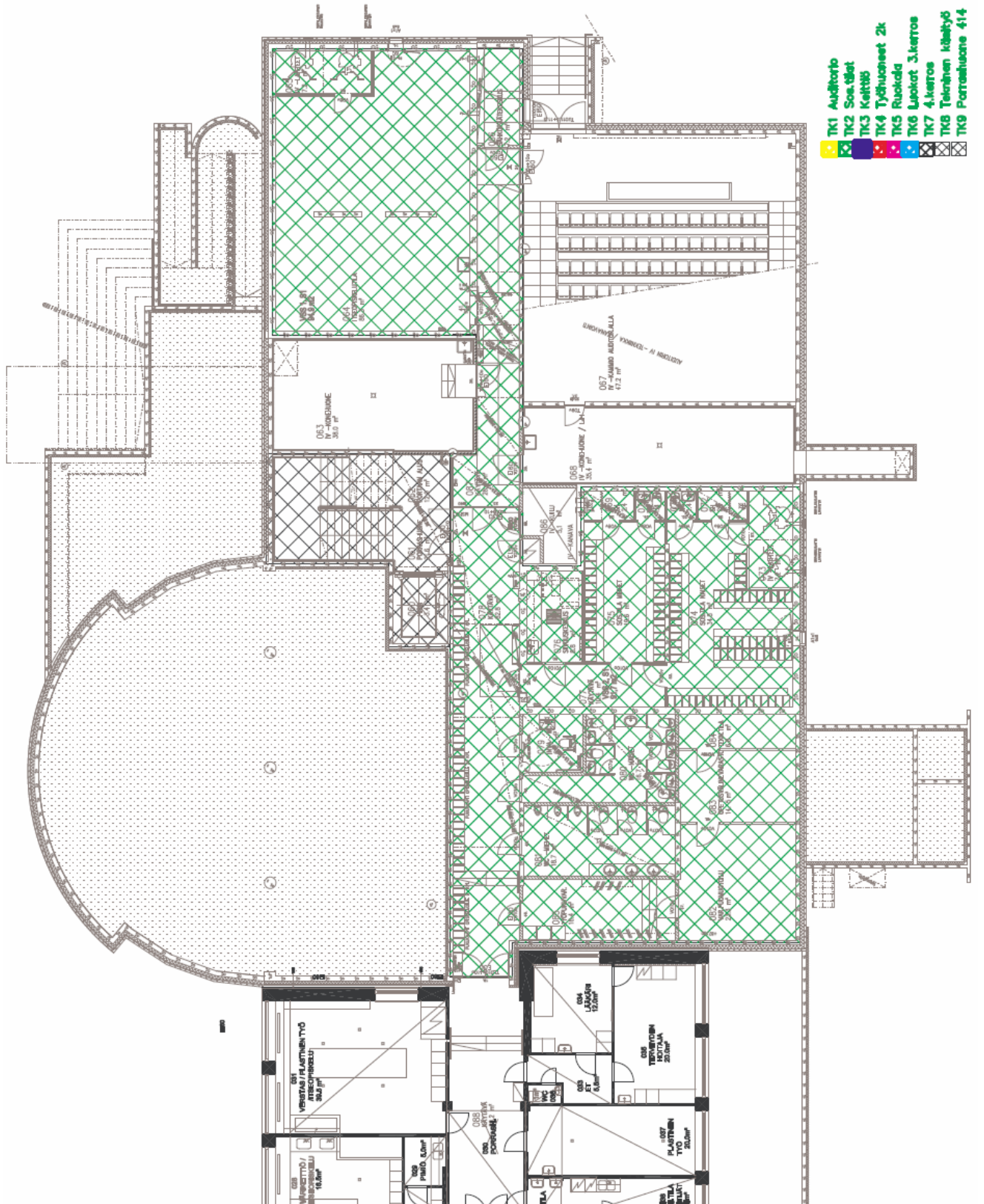
Lisätutkimusta suosittelisin laajennusosan ilmavirtojen tarkasteluun: onko ilmavirrat oikeanlaiset ja ohjataan ilmanvaihtokoneita oikein. Näin saataisiin varmuus rakennuksen oikeanlaisesta toiminnasta ja käytöstä. Tämän lisäksi rakennusautomaation anturit tulisi tarkastaa ja varsinkin LTO:n ja lämmityspatterin välissä olevaan anturiin tulisi lisätä säteilynsuojaus. Ilmanvaihdon aikaohjelmia tulisi myös tarkastella ja näin saada käyntiajat vastaamaan tilojen käyttöä.

## 9 LÄHTEET

- [1] Energiatodistusopas 2007. www-dokumentti,  
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=105735&lan=fi>, Päivitetty 2.7.2009.  
Luettu 16.12.2009.
- [2] Matalaenergiatalot ja sähkölämmitys. www -dokumentti,  
<http://www.sahkolammitysfoorumi.com/VTT-matalaenergiatalo.pdf>, Päivitetty  
9.11.2004. Luettu 10.12.2009.
- [3] Laine, Juhani & Saari, Mikko 2003. Humania – uudisrakennus, Sisäilmaston ja  
matalaenergiarakentamisen suunnitteluperiaatteet. Raportti. VTT rakennus- ja  
yhdyskuntatekniikka. ESPOO.
- [4] Sisäilmastoluokitus 2008. LVI 05-10440. Päivitetty 18.5.2009. Luettu 30.12.2009.
- [5] SFP-opas. www-dokumentti,  
[http://www.teknologiateollisuus.fi/file/5965/sfpopas3\\_060709.pdf.html](http://www.teknologiateollisuus.fi/file/5965/sfpopas3_060709.pdf.html), Päivitetty  
Heinäkuu 2009. Luettu 29.12.2009.
- [6] Suomen Rakentamismääräyskokoelma, Osa: D2. www -dokumentti,  
[http://www.finlex.fi/data/normit/34164-D2-2010\\_suomi\\_22-12-2008.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/34164-D2-2010_suomi_22-12-2008.pdf), Päivitetty  
22.12.2008. Luettu 28.12.2009.
- [7] Ashrae Handbook 2004. HVAC Systems and Equipment. SI Edition.
- [8] Ympäristöministeriön moniste 122, Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto  
lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. www -dokumentti,  
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=9298&lan=fi>, Päivitetty 17.12.2009.  
Luettu 17.1.2010.
- [9] LTO-vuosihyötysuhteen laskenta, www -dokumentti,  
<http://www.teknologiateollisuus.fi/fi/ryhmat-ja-yhdistykset/lto-vuosihy-tysuhteen-laskenta.html>, Päivitetty 30.7.2009. Luettu 17.1.2010.
- [10] Suomen Rakentamismääräyskokoelma, Osa: D5. www -dokumentti,  
<http://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf>, Päivitetty 19.6.2007.  
Luettu 22.1.2010.

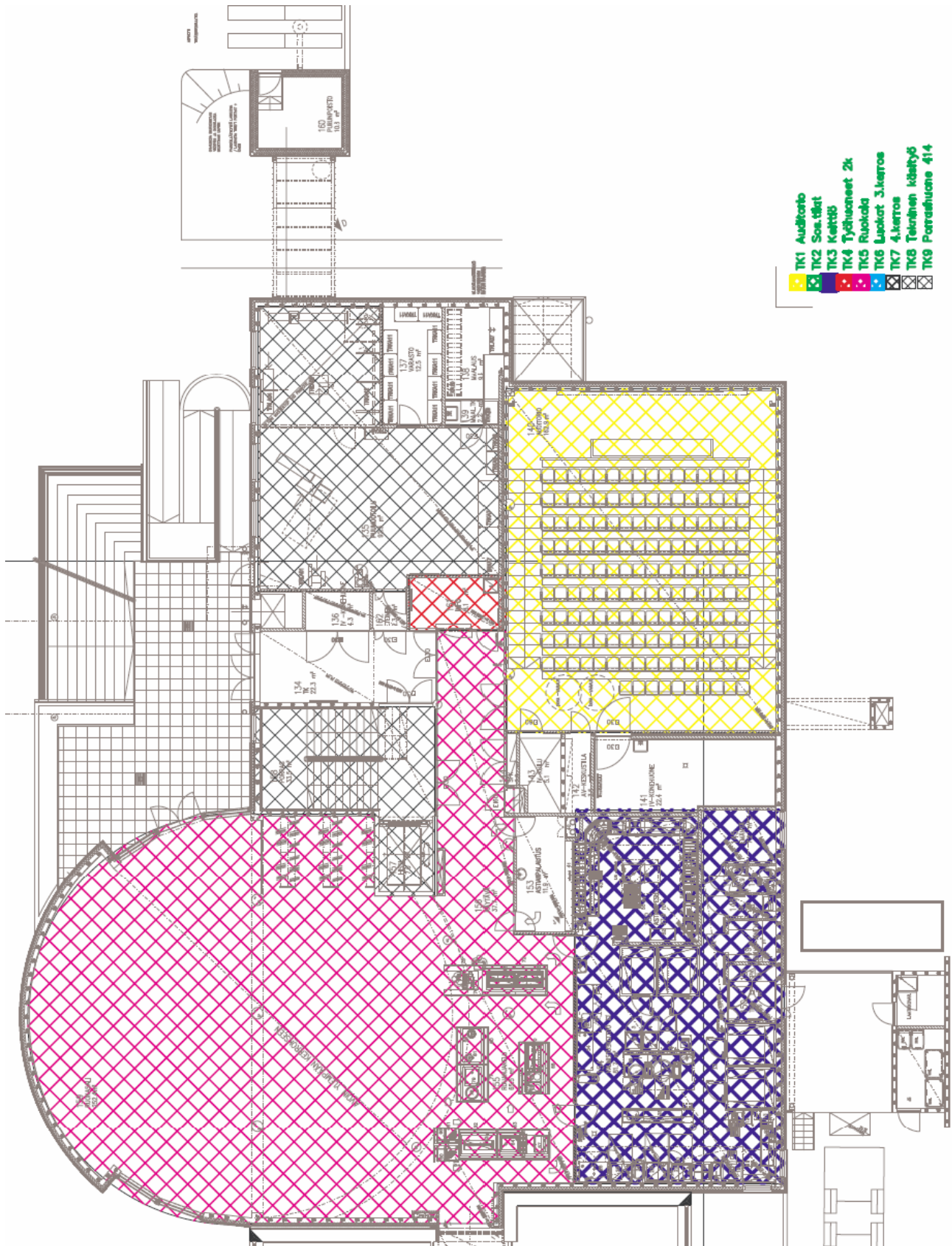
## LIITE 1 (1/5): Ilmanvaihtokoneiden vaikutusalueet

## Kellarikerros



## LIITE 1 (2/5): Ilmanvaihtokoneiden vaikutusalueet

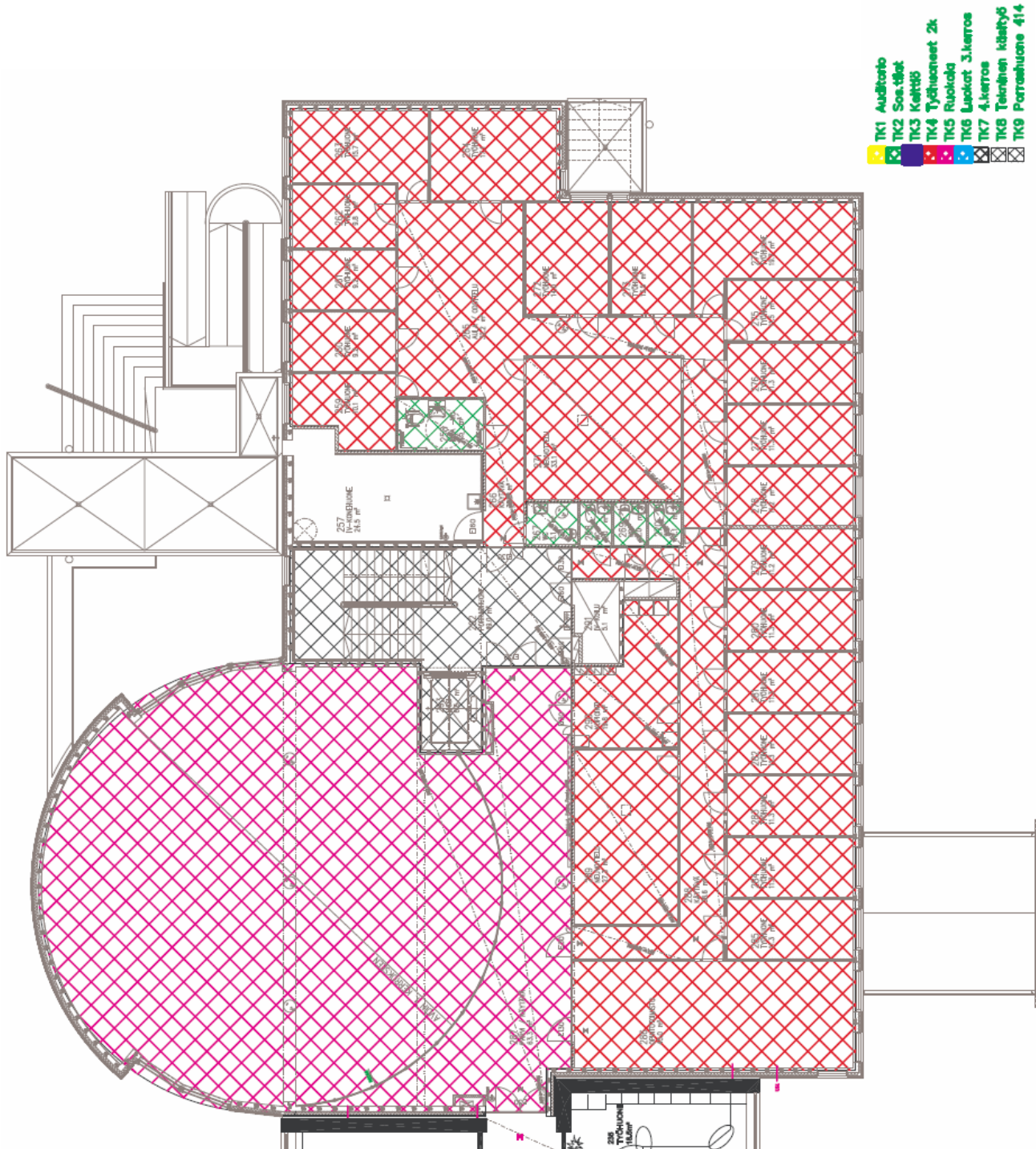
## 1. kerros





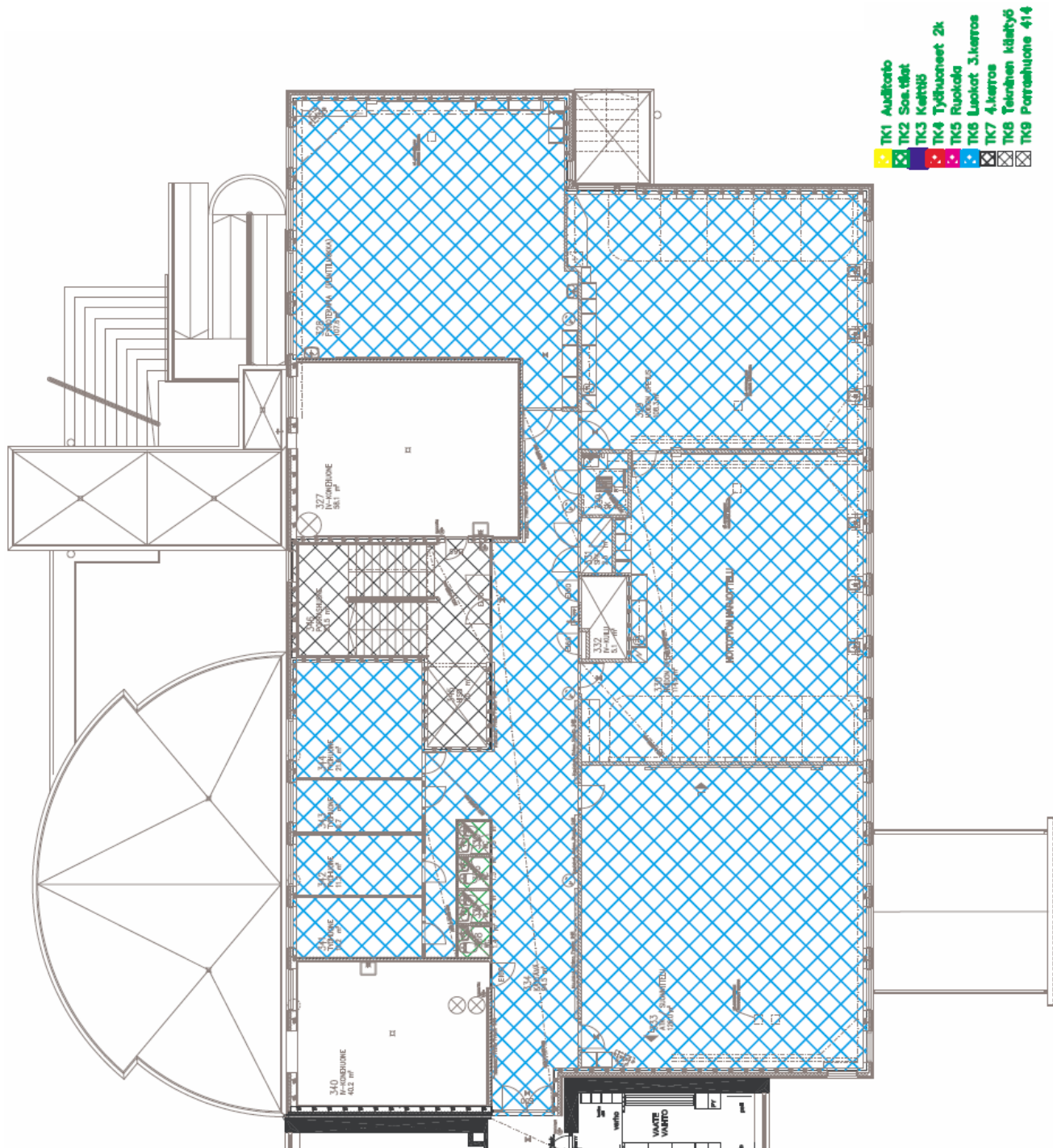
## LIITE 1 (3/5): Ilmanvaihtokoneiden vaikutusalueet

2. kerros



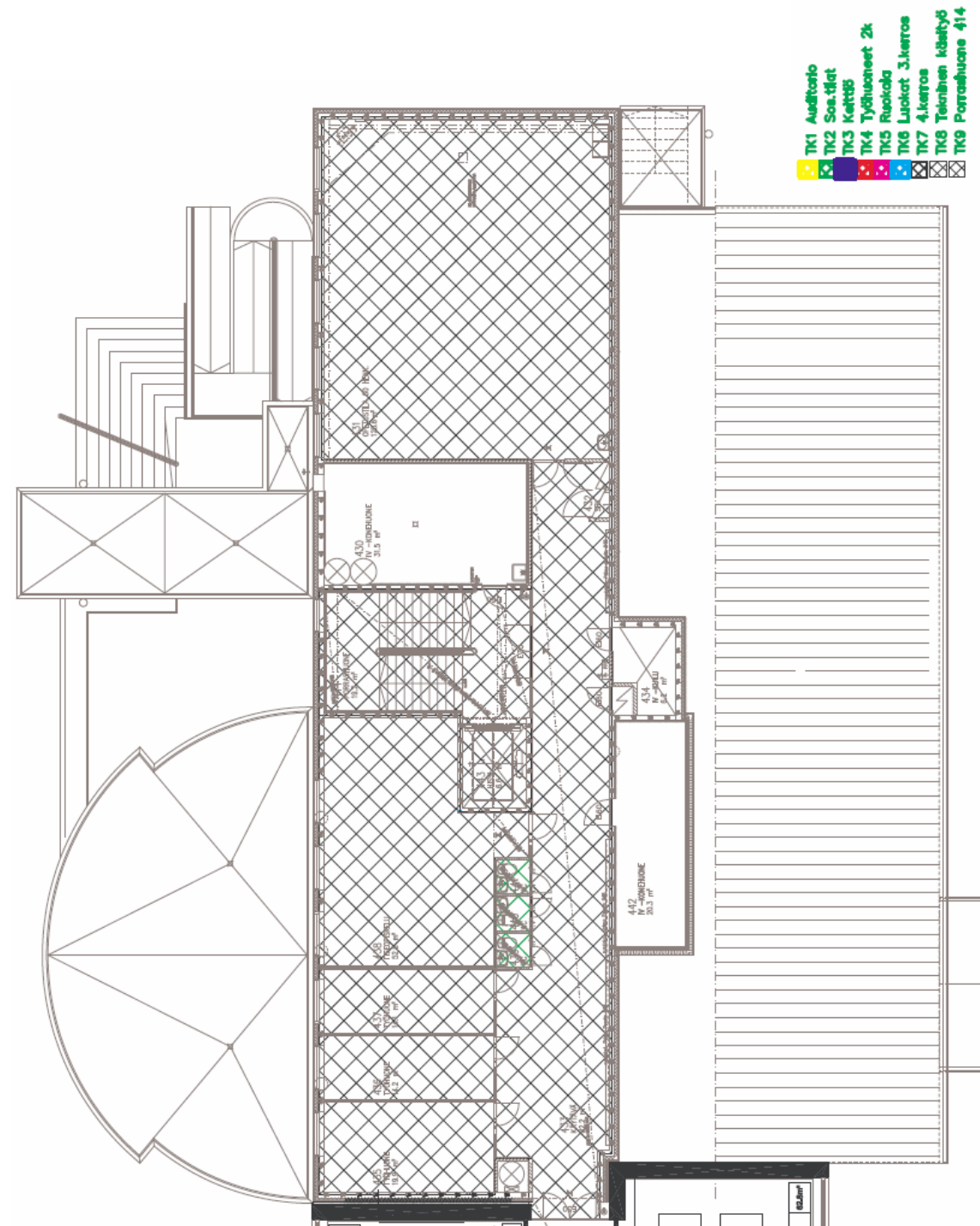
## LIITE 1 (4/5): Ilmanvaihtokoneiden vaikutusalueet

## 3. kerros



# LIITE 1 (5/5): Ilmanvaihtokoneiden vaikutusalueet

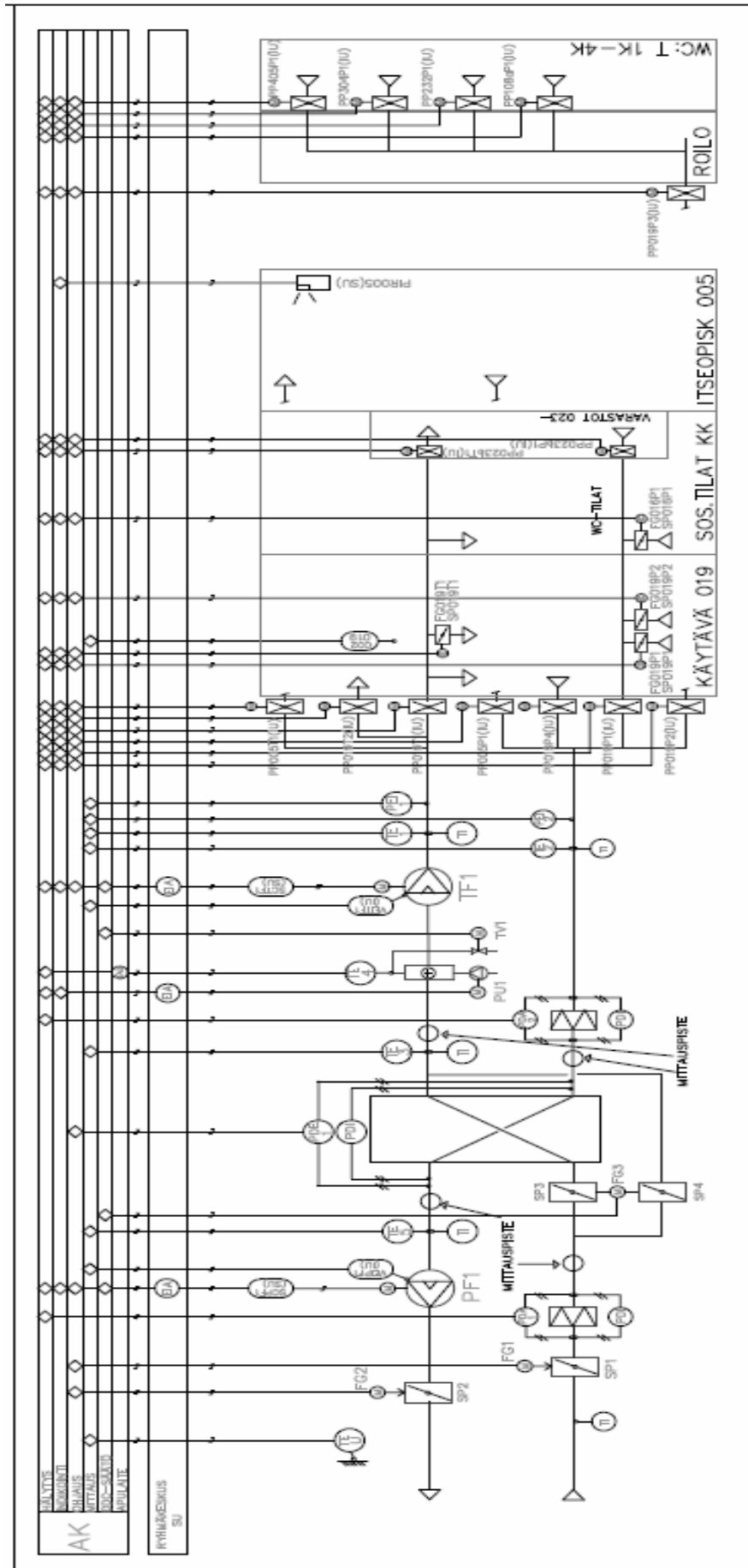
## 4. kerros





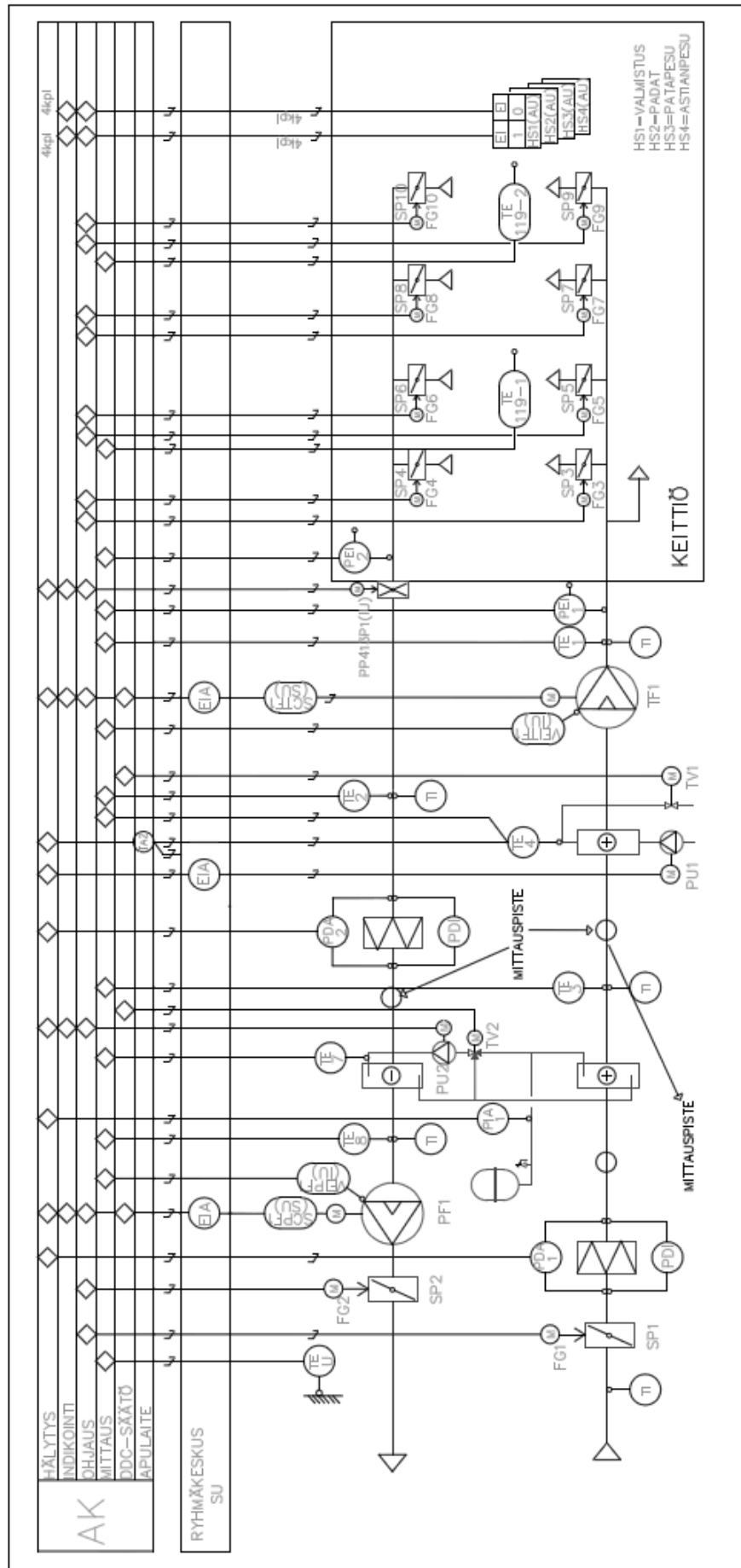
## LIITE 2 (1/3): Sääntökaaviot ja mittauspisteet

## IV-kone TK2



## LIITE 2 (2/3): Sääntökaaviot ja mittauspisteet

## IV-kone TK3



## LIITE 2 (3/3): Sääntökaaviot ja mittauspisteet

## IV-kone TK6

